S01P0896 US00

日　本　国　特　許　庁
JAPAN PATENT OFFICE

J1040 U.S. PTO
09/876742
06/07/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

#4
12-7-01

出 願 年 月 日
Date of Application:　　２０００年　６月　８日

出 願 番 号
Application Number:　　特願２０００－１７２６７６

出 願 人
Applicant(s):　　ソニー株式会社

２００１年　５月１１日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office　　及川耕造

出証番号　出証特２００１－３０４００１７

【書類名】　特許願
【整理番号】　0000118202
【提出日】　平成12年 6月 8日
【あて先】　特許庁長官　殿
【国際特許分類】　H03M 13/12
【発明者】
【住所又は居所】　東京都品川区北品川６丁目７番３５号　ソニー株式会社内
【氏名】　宮内　俊之
【発明者】
【住所又は居所】　東京都品川区北品川６丁目７番３５号　ソニー株式会社内
【氏名】　服部　雅之
【特許出願人】
【識別番号】　000002185
【氏名又は名称】　ソニー株式会社
【代表者】　出井　伸之
【代理人】
【識別番号】　100067736
【弁理士】
【氏名又は名称】　小池　晃
【選任した代理人】
【識別番号】　100086335
【弁理士】
【氏名又は名称】　田村　榮一
【選任した代理人】
【識別番号】　100096677
【弁理士】
【氏名又は名称】　伊賀　誠司

【手数料の表示】

【予納台帳番号】　019530

【納付金額】　21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】　明細書　1

【物件名】　図面　1

【物件名】　要約書　1

【包括委任状番号】　9707387

【プルーフの要否】　要

【書類名】　明細書
【発明の名称】　復号装置及び復号方法
【特許請求の範囲】
【請求項１】　各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達する符号化がなされて受信した軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を対数表記した対数尤度を求め、上記対数尤度を用いて復号を行う復号装置であって、

各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスを選択するパス選択手段を備えること

を特徴とする復号装置。

【請求項２】　上記パス選択手段は、各ステートに到達した少なくとも３つ以上の全てのパスの中から選択した２つのパスの組み合わせの全てについて尤度の大小を比較する比較手段を有すること

を特徴とする請求項１記載の復号装置。

【請求項３】　上記最尤パスに対応するデータと２番目に尤度の高いパスである準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めて選択する絶対値選択手段を備えること

を特徴とする請求項１記載の復号装置。

【請求項４】　上記絶対値選択手段は、各ステートに到達した少なくとも３つ以上の全てのパスの中から選択した２つのパスの組み合わせの全てについて、差分値の絶対値を算出する絶対値算出手段を有し、

上記パス選択手段により各ステートに到達した少なくとも３つ以上の全てのパスの中から選択した２つのパスの組み合わせの全てについて尤度の大小を比較した結果を示す比較結果情報に基づいて、上記絶対値算出手段により算出した絶対値の大小関係を判別すること

を特徴とする請求項３記載の復号装置。

【請求項５】　上記対数尤度を与えるために追加され、変数に対する１次元の関数で表される補正項を線形近似により算出する線形近似手段を備え、

上記線形近似手段は、上記絶対値選択手段から供給された上記最尤パスに対応するデータと上記準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を上記変数とすること

を特徴とする請求項３記載の復号装置。

【請求項６】　上記線形近似手段は、少なくとも上記変数に乗算すべき上記関数の傾きを表す係数を２のべき乗を用いて表現して上記補正項を算出すること

を特徴とする請求項５記載の復号装置。

【請求項７】　上記線形近似手段は、上記関数の傾きを表す係数を表現するべき数に応じて、入力されたデータの下位ビットから切り捨てること

を特徴とする請求項６記載の復号装置。

【請求項８】　上記線形近似手段は、上記関数の傾きを表す係数を-2^{-k}で表現したとき、入力されたデータの下位１ビット目から下位ｋビット目までを切り捨てること

を特徴とする請求項６記載の復号装置。

【請求項９】　上記線形近似手段は、上記関数の切片を表す係数を２のべき乗を用いて表現して上記補正項を算出すること

を特徴とする請求項６記載の復号装置。

【請求項１０】　上記線形近似手段は、上記関数の切片を表す係数を$2^{m}-1$で表現して上記補正項を算出すること

を特徴とする請求項９記載の復号装置。

【請求項１１】　上記線形近似手段は、上記関数の傾きを表す係数を-2^{-k}で表現したとき、入力されたｎビットのデータの下位１ビット目から下位ｋビット目までを切り捨て、下位ｋ＋１ビット目から下位ｍ＋ｋビット目までのｍビットを反転すること

を特徴とする請求項１０記載の復号装置。

【請求項１２】　上記補正項は、正値であること

を特徴とする請求項６記載の復号装置。

【請求項１３】　上記線形近似手段は、上記補正項が負値として算出された場合には、上記補正項を０とすること

を特徴とする請求項１２記載の復号装置。

【請求項１４】　上記対数尤度は、上記確率を自然対数を用いて対数表記したものであること

を特徴とする請求項１記載の復号装置。

【請求項１５】　上記受信値毎に、符号の出力パターンと上記受信値により決定される第１の確率を対数表記した第１の対数尤度を算出する第１の確率算出手段と、

上記第１の対数尤度に基づいて、上記受信値毎に、符号化開始ステートから時系列順に各ステートに至る第２の確率を対数表記した第２の対数尤度を算出する第２の確率算出手段と、

上記第１の対数尤度に基づいて、上記受信値毎に、打ち切りステートから時系列の逆順に各ステートに至る第３の確率を対数表記した第３の対数尤度を算出する第３の確率算出手段とを備え、

上記第２の確率算出手段及び上記第３の確率算出手段は、それぞれ、上記パス選択手段を有すること

を特徴とする請求項１記載の復号装置。

【請求項１６】　上記第１の対数尤度と、上記第２の対数尤度と、上記第３の対数尤度とを用いて、各時刻における軟出力を対数表記した対数軟出力を算出する軟出力算出手段を備えること

を特徴とする請求項１５記載の復号装置。

【請求項１７】　上記対数軟出力は、上記軟出力を自然対数を用いて対数表記したものであること

を特徴とする請求項１６記載の復号装置。

【請求項１８】　上記第２の確率算出手段及び上記第３の確率算出手段は、それぞれ、上記最尤パスに対応するデータと２番目に尤度の高いパスである準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めて選択する絶対値選択手段を有すること

を特徴とする請求項１５記載の復号装置。

【請求項１９】　上記第２の確率算出手段及び上記第３の確率算出手段は、そ

れぞれ、上記対数尤度を与えるために追加され、変数に対する１次元の関数で表される補正項を線形近似により算出する線形近似手段を有すること

を特徴とする請求項１５記載の復号装置。

【請求項２０】　上記対数尤度は、上記確率の積演算を対数の和演算に置き換えた計算を行うとともに、上記確率の和演算を対数の最大値演算を行うことで求められること

を特徴とする請求項１記載の復号装置。

【請求項２１】　Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づく最大事後確率復号を行うこと

を特徴とする請求項２０記載の復号装置。

【請求項２２】　上記対数尤度は、上記確率の積演算を対数の和演算に置き換えた計算を行うとともに、上記確率の和演算を対数の最大値演算と上記関数の演算とを行うことで求められること

を特徴とする請求項５記載の復号装置。

【請求項２３】　Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づく最大事後確率復号を行うこと

を特徴とする請求項２２記載の復号装置。

【請求項２４】　畳み込み符号の復号を行うこと

を特徴とする請求項１記載の復号装置。

【請求項２５】　各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達する符号化がなされて受信した軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を対数表記した対数尤度を求め、上記対数尤度を用いて復号を行う復号方法であって、

各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスを選択するパス選択工程を備えること

を特徴とする復号方法。

【請求項２６】　上記パス選択工程では、各ステートに到達した少なくとも３つ以上の全てのパスの中から選択した２つのパスの組み合わせの全てについて尤

度の大小を比較すること

を特徴とする請求項２５記載の復号方法。

【請求項２７】　上記最尤パスに対応するデータと２番目に尤度の高いパスである準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めて選択する絶対値選択工程を備えること

を特徴とする請求項２５記載の復号方法。

【請求項２８】　上記絶対値選択工程では、各ステートに到達した少なくとも３つ以上の全てのパスの中から選択した２つのパスの組み合わせの全てについて、差分値の絶対値を算出し、

上記パス選択工程にて各ステートに到達した少なくとも３つ以上の全てのパスの中から選択した２つのパスの組み合わせの全てについて尤度の大小を比較した結果を示す比較結果情報に基づいて、算出した絶対値の大小関係を判別すること

を特徴とする請求項２７記載の復号方法。

【請求項２９】　上記対数尤度を与えるために追加され、変数に対する１次元の関数で表される補正項を線形近似により算出する線形近似工程を備え、

上記線形近似工程では、上記絶対値選択工程にて選択された上記最尤パスに対応するデータと上記準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を上記変数とすること

を特徴とする請求項２７記載の復号方法。

【請求項３０】　上記線形近似工程では、少なくとも上記変数に乗算すべき上記関数の傾きを表す係数を２のべき乗を用いて表現して上記補正項を算出すること

を特徴とする請求項２９記載の復号方法。

【請求項３１】　上記線形近似工程では、上記関数の傾きを表す係数を表現するべき数に応じて、入力されたデータの下位ビットから切り捨てること

を特徴とする請求項３０記載の復号方法。

【請求項３２】　上記線形近似工程では、上記関数の傾きを表す係数を-2^{-k}で表現したとき、入力されたデータの下位１ビット目から下位ｋビット目までを切り捨てること

を特徴とする請求項３０記載の復号方法。

【請求項３３】　上記線形近似工程では、上記関数の切片を表す係数を２のべき乗を用いて表現して上記補正項を算出すること

を特徴とする請求項３０記載の復号方法。

【請求項３４】　上記線形近似工程では、上記関数の切片を表す係数を２^{m}－１で表現して上記補正項を算出すること

を特徴とする請求項３３記載の復号方法。

【請求項３５】　上記線形近似工程では、上記関数の傾きを表す係数を－２^{-k}で表現したとき、入力されたｎビットのデータの下位１ビット目から下位ｋビット目までを切り捨て、下位ｋ＋１ビット目から下位ｍ＋ｋビット目までのｍビットを反転すること

を特徴とする請求項３４記載の復号方法。

【請求項３６】　上記補正項は、正値であること

を特徴とする請求項３０記載の復号方法。

【請求項３７】　上記線形近似工程では、上記補正項が負値として算出された場合には、上記補正項を０とすること

を特徴とする請求項３６記載の復号方法。

【請求項３８】　上記対数尤度は、上記確率を自然対数を用いて対数表記したものであること

を特徴とする請求項２５記載の復号方法。

【請求項３９】　上記受信値毎に、符号の出力パターンと上記受信値により決定される第１の確率を対数表記した第１の対数尤度を算出する第１の確率算出工程と、

上記第１の対数尤度に基づいて、上記受信値毎に、符号化開始ステートから時系列順に各ステートに至る第２の確率を対数表記した第２の対数尤度を算出する第２の確率算出工程と、

上記第１の対数尤度に基づいて、上記受信値毎に、打ち切りステートから時系列の逆順に各ステートに至る第３の確率を対数表記した第３の対数尤度を算出する第３の確率算出工程とを備え、

上記第２の確率算出工程及び上記第３の確率算出工程は、それぞれ、上記パス選択工程を有すること

を特徴とする請求項２５記載の復号方法。

【請求項４０】　上記第１の対数尤度と、上記第２の対数尤度と、上記第３の対数尤度とを用いて、各時刻における軟出力を対数表記した対数軟出力を算出する軟出力算出工程を備えること

を特徴とする請求項３９記載の復号方法。

【請求項４１】　上記対数軟出力は、上記軟出力を自然対数を用いて対数表記したものであること

を特徴とする請求項４０記載の復号方法。

【請求項４２】　上記第２の確率算出工程及び上記第３の確率算出工程は、それぞれ、上記最尤パスに対応するデータと２番目に尤度の高いパスである準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めて選択する絶対値選択工程を有すること

を特徴とする請求項３９記載の復号方法。

【請求項４３】　上記第２の確率算出工程及び上記第３の確率算出工程は、それぞれ、上記対数尤度を与えるために追加され、変数に対する１次元の関数で表される補正項を線形近似により算出する線形近似工程を有すること

を特徴とする請求項３９記載の復号方法。

【請求項４４】　上記対数尤度は、上記確率の積演算を対数の和演算に置き換えた計算を行うとともに、上記確率の和演算を対数の最大値演算を行うことで求めること

を特徴とする請求項２５記載の復号方法。

【請求項４５】　Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づく最大事後確率復号を行うこと

を特徴とする請求項４４記載の復号方法。

【請求項４６】　上記対数尤度は、上記確率の積演算を対数の和演算に置き換えた計算を行うとともに、上記確率の和演算を対数の最大値演算と上記関数の演算とを行うことで求めること

を特徴とする請求項２９記載の復号方法。

【請求項４７】　Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づく最大事後確率復号を行うこと

を特徴とする請求項４６記載の復号方法。

【請求項４８】　畳み込み符号の復号を行うこと

を特徴とする請求項２５記載の復号方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、軟出力復号を行う復号装置及び復号方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】

近年、連接符号における内符号の復号出力や繰り返し復号法における各繰り返し復号動作の出力を軟出力とすることで、シンボル誤り率を小さくする研究がなされており、それに適した復号法に関する研究が盛んに行われている。例えば畳み込み符号等の所定の符号を復号した際のシンボル誤り率を最小にする方法としては、「Bahl, Cocke, Jelinek and Raviv, “Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate”, IEEE Trans. Inf. Theory, vol. IT-20, pp. 284-287, Mar. 1974」に記載されているＢＣＪＲアルゴリズムが知られている。このＢＣＪＲアルゴリズムにおいては、復号結果として各シンボルを出力するのではなく、各シンボルの尤度を出力する。このような出力は、軟出力（soft-output）と呼ばれる。以下、このＢＣＪＲアルゴリズムの内容について説明する。なお、以下の説明では、図２３に示すように、ディジタル情報を図示しない送信装置が備える符号化装置２０１により畳み込み符号化し、その出力を雑音のある無記憶通信路２０２を介して図示しない受信装置に入力して、この受信装置が備える復号装置２０３により復号し、観測する場合を考える。

【０００３】

まず、符号化装置２０１が備えるシフトレジスタの内容を表すM個のステート（遷移状態）をｍ（０，１，・・・，Ｍ－１）で表し、時刻ｔのステートをS_t

で表す。また、１タイムスロットにｋビットの情報が入力されるものとすると、時刻ｔにおける入力をi_t＝（i_{t1}，i_{t2}，・・・，i_{tk}）で表し、入力系統をI_1^T＝（i_1，i_2，・・・，i_T）で表す。このとき、ステートｍ’からステートｍへの遷移がある場合には、その遷移に対応する情報ビットをｉ（ｍ’，ｍ）＝（i_1（ｍ’，ｍ），i_2（ｍ’，ｍ），・・・，i_k（ｍ’，ｍ））で表す。さらに、１タイムスロットにｎビットの符号が出力されるものとすると、時刻ｔにおける出力をx_t＝（x_{t1}，x_{t2}，・・・，x_{tn}）で表し、出力系統をX_1^T＝（x_1，x_2，・・・，x_T）で表す。このとき、ステートｍ’からステートｍへの遷移がある場合には、その遷移に対応する符号ビットをｘ（ｍ’，ｍ）＝（x_1（ｍ’，ｍ），x_2（ｍ’，ｍ），・・・，x_n（ｍ’，ｍ））で表す。

【０００４】

符号化装置２０１による畳み込み符号化は、ステートS_0＝０から始まり、X_1^Tを出力してS_T＝０で終了するものとする。ここで、各ステート間の遷移確率P_t（ｍ｜ｍ’）を次式（１）により定義する。

【０００５】

【数１】

$$P_t\left(m\,|\,m'\right)=Pr\left\{S_t=m\,|\,S_{t-1}=m'\right\} \qquad (1)$$

【０００６】

なお、上式（１）における右辺に示すＰｒ｛Ａ｜Ｂ｝は、Ｂが生じた条件の下でのＡが生じる条件付き確率である。この遷移確率P_t（ｍ｜ｍ’）は、次式（２）に示すように、入力ｉでステートｍ’からステートｍへと遷移するときに、時刻ｔでの入力i_tがｉである確率Ｐｒ｛i_t＝ｉ｝と等しいものである。

【０００７】

【数２】

$$P_t(m|m') = Pr\{i_t = i\} \tag{2}$$

【０００８】

雑音のある無記憶通信路２０２は、X_1^Tを入力とし、Y_1^Tを出力する。ここで、１タイムスロットにｎビットの受信値が出力されるものとすると、時刻ｔにおける出力を$y_t=(y_{t1}, y_{t2}, \cdots, y_{tn})$で表し、$Y_1^T=(y_1, y_2, \cdots, y_T)$で表す。雑音のある無記憶通信路２０２の遷移確率は、全てのｔ（$1 \leqq t \leqq T$）について、次式（３）に示すように、各シンボルの遷移確率$Pr\{y_j | x_j\}$を用いて定義することができる。

【０００９】

【数３】

$$Pr\{Y_1^t | X_1^t\} = \prod_{j=1}^{t} Pr\{y_j | x_j\} \tag{3}$$

【００１０】

ここで、次式（４）のようにλ_{tj}を定義する。この次式（４）に示すλ_{tj}は、Y_1^Tを受信した際の時刻ｔでの入力情報の尤度を表し、本来求めるべき軟出力である。

【００１１】

【数４】

$$\lambda_{tj} = \frac{Pr\left\{i_{tj} = 1 \mid Y_1^T\right\}}{Pr\left\{i_{tj} = 0 \mid Y_1^T\right\}} \qquad (4)$$

【００１２】

ＢＣＪＲアルゴリズムにおいては、次式（５）乃至次式（７）に示すような確率α_t，β_t及びγ_tを定義する。なお、Ｐｒ｛Ａ；Ｂ｝は、ＡとＢとがともに生じる確率を表すものとする。

【００１３】

【数５】

$$\alpha_t(m) = Pr\left\{S_t = m\,;\, Y_1^t\right\} \qquad (5)$$

【００１４】

【数６】

$$\beta_t(m) = Pr\left\{Y_{t+1}^T \mid S_t = m\right\} \qquad (6)$$

【００１５】

【数７】

$$\gamma_t(m', m) = Pr\left\{S_t = m\,;\, y_t \,|\, S_{t-1} = m'\right\} \qquad (7)$$

【００１６】

ここで、これらの確率α_t，β_t及びγ_tの内容について、符号化装置２０１における状態遷移図であるトレリスを図２４を用いて説明する。同図において、α_{t-1}は、符号化開始ステートS_0＝０から受信値をもとに時系列順に算出した時刻ｔ－１における各ステートの通過確率に対応する。また、β_tは、符号化終了ステートS_T＝０から受信値をもとに時系列の逆順に算出した時刻ｔにおける各ステートの通過確率に対応する。さらに、γ_tは、時刻ｔにおける受信値と入力確率とをもとに算出した時刻ｔにステート間を遷移する各枝の出力の受信確率に対応する。

【００１７】

これらの確率α_t，β_t及びγ_tを用いると、軟出力λ_{tj}は、次式（８）のように表すことができる。

【００１８】

【数８】

$$\lambda_{tj} = \frac{\displaystyle\sum_{\substack{m', m \\ i_j(m', m) = 1}} \alpha_t(m')\,\gamma_t(m', m)\,\beta_t(m)}{\displaystyle\sum_{\substack{m', m \\ i_j(m', m) = 0}} \alpha_t(m')\,\gamma_t(m', m)\,\beta_t(m)} \qquad (8)$$

【００１９】

ところで、ｔ＝１，２，・・・，Ｔについて、次式（９）が成立する。

【００２０】

【数９】

$$\alpha_t(m)=\sum_{m'=0}^{M-1}\alpha_{t-1}(m')\gamma_t(m',m)$$
$$\text{ただし、}\alpha_0(0)=1,\ \alpha_0(m)=0\ (m\neq 0) \qquad (9)$$

【００２１】

同様に、ｔ＝１，２，・・・，Ｔについて、次式（１０）が成立する。

【００２２】

【数１０】

$$\beta_t(m)=\sum_{m'=0}^{M-1}\beta_{t+1}(m')\gamma_{t+1}(m,m')$$
$$\text{ただし、}\beta_T(0)=1,\ \beta_T(m)=0\ (m\neq 0) \qquad (10)$$

【００２３】

さらに、γ_tについて、次式（１１）が成立する。

【００２４】

【数１１】

$$\gamma_t(m', m) = \begin{cases} P_t(m \mid m') \cdot Pr\left\{y_t \mid x(m', m)\right\} \\ \quad = Pr\left\{i_t = i(m', m)\right\} \cdot Pr\left\{y_t \mid x(m', m)\right\} \\ \quad \text{:入力 i で m' から m へ遷移する場合} \\ 0 \quad \text{:入力 i で m' から m へ遷移しない場合} \end{cases} \qquad (11)$$

【００２５】

したがって、復号装置２０３は、ＢＣＪＲアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う場合には、これらの関係に基づいて、図２５に示す一連の工程を経ることにより軟出力λ_tを求める。

【００２６】

まず、復号装置２０３は、同図に示すように、ステップＳ２０１において、y_tを受信する毎に、上式（９）及び上式（１１）を用いて、確率α_t（m）及びγ_t（m’，m）を算出する。

【００２７】

続いて、復号装置２０３は、ステップＳ２０２において、系列Y_1^Tの全てを受信した後に、上式（１０）を用いて、全ての時刻ｔにおける各ステートｍについて、確率β_t（m）を算出する。

【００２８】

そして、復号装置２０３は、ステップＳ２０３において、ステップＳ２０１及びステップＳ２０２において算出した確率α_t，β_t及びγ_tを上式（８）に代入し、各時刻ｔにおける軟出力λ_tを算出する。

【００２９】

復号装置２０３は、このような一連の処理を経ることによって、ＢＣＪＲアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。

【００３０】

ところで、このようなＢＣＪＲアルゴリズムにおいては、確率を直接値として保持して演算を行う必要があり、積演算を含むために演算量が大きいという問題があった。そこで、演算量を削減する手法として、「Robertson, Villebrun and Hoeher, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the domain", IEEE Int. Conf. on Communications, pp. 1009-1013, June 1995」に記載されているＭａｘ－Ｌｏｇ－ＭＡＰアルゴリズム及びＬｏｇ－ＭＡＰアルゴリズム（以下、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズム及びＬｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムと称する。）がある。

【００３１】

まず、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムについて説明する。Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムは、確率α_t，β_t並びにγ_t、及び軟出力λ_tを自然対数を用いて対数表記し、次式（１２）に示すように、確率の積演算を対数の和演算に置き換えるとともに、次式（１３）に示すように、確率の和演算を対数の最大値演算で近似するものである。なお、次式（１３）に示すｍａｘ（ｘ，ｙ）は、ｘ，ｙのうち大きい値を有するものを選択する関数である。

【００３２】

【数１２】

$$\log\left(e^{x}\cdot e^{y}\right)=x+y \qquad (12)$$

【００３３】

【数１３】

$$\log\left(e^{x}+e^{y}\right)=\max\left(x\,,\,y\right) \tag{13}$$

【００３４】

ここで、記載を簡略化するため、自然対数をＩと略記し、α_t, β_t, γ_t, λ_tの自然対数値を、それぞれ、次式（１４）に示すように、Ｉα_t, Ｉβ_t, Ｉγ_t, Ｉλ_tと表すものとする。

【００３５】

【数１４】

$$\begin{cases} \mathrm{I}\,\alpha_t(m)=\log\left(\alpha_t(m)\right) \\ \mathrm{I}\,\beta_t(m)=\log\left(\beta_t(m)\right) \\ \mathrm{I}\,\gamma_t(m)=\log\left(\gamma_t(m)\right) \\ \mathrm{I}\,\lambda_t=\log\lambda_t \end{cases} \tag{14}$$

【００３６】

Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおいては、これらの対数尤度（log likelihood）Ｉα_t, Ｉβ_t, Ｉγ_tを、それぞれ、次式（１５）乃至次式（１７）に示すように近似する。ここで、次式（１５）における右辺のステートｍ’に

おける最大値ｍａｘは、ステートｍへの遷移が存在するステートｍ’の中で求めるものとし、次式（１６）における右辺のステートｍ’における最大値ｍａｘは、ステートｍからの遷移が存在するステートｍ’の中で求めるものとする。

【００３７】

【数１５】

$$I\alpha_t(m) \simeq \max_{m'}\left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m)\right) \tag{15}$$

【００３８】

【数１６】

$$I\beta_t(m) \simeq \max_{m'}\left(I\beta_{t+1}(m') + I\gamma_{t+1}(m, m')\right) \tag{16}$$

【００３９】

【数１７】

$$I\gamma_t(m', m) = \log\left(Pr\left\{i_t = i(m', m)\right\}\right) + \log\left(Pr\left\{y_t \mid x(m', m)\right\}\right) \tag{17}$$

【００４０】

また、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおいては、対数軟出力Ｉλ_tについても同様に、次式（１８）に示すように近似する。ここで、次式（１８）における右辺第１項の最大値ｍａｘは、入力が“１”のときにステートｍへの遷

移が存在するステートｍ’の中で求め、第２項の最大値ｍａｘは、入力が“０”のときにステートｍへの遷移が存在するステートｍ’の中で求めるものとする。

【００４１】

【数１８】

$$I\lambda_{tj} = \max_{\substack{m',m \\ i_j(m',m)=1}} \left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m',m) + I\beta_t(m) \right) - \max_{\substack{m',m \\ i_j(m',m)=0}} \left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m',m) + \beta_t(m) \right) \quad (18)$$

【００４２】

したがって、復号装置２０３は、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う場合には、これらの関係に基づいて、図２６に示す一連の工程を経ることにより軟出力λ_tを求める。

【００４３】

まず、復号装置２０３は、同図に示すように、ステップＳ２１１において、y_tを受信する毎に、上式（１５）及び上式（１７）を用いて、対数尤度$I\alpha_t$（ｍ）及び$I\gamma_t$（ｍ’，ｍ）を算出する。

【００４４】

続いて、復号装置２０３は、ステップＳ２１２において、系列Y_1^Tの全てを受信した後に、上式（１６）を用いて、全ての時刻ｔにおける各ステートｍについて、対数尤度$I\beta_t$（ｍ）を算出する。

【００４５】

そして、復号装置２０３は、ステップＳ２１３において、ステップＳ２１１及びステップＳ２１２において算出した対数尤度$I\alpha_t$，$I\beta_t$及び$I\gamma_t$を上式（１８）に代入し、各時刻ｔにおける対数軟出力$I\lambda_t$を算出する。

【００４６】

復号装置２０３は、このような一連の処理を経ることによって、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。

【００４７】

このように、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムは、積演算が含まれないことから、ＢＣＪＲアルゴリズムと比較して、演算量を大幅に削減することができる。

【００４８】

つぎに、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムについて説明する。Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムは、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムによる近似の精度をより向上させたものである。具体的には、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムは、上式（１３）に示した確率の和演算を次式（１９）に示すように補正項を追加することで変形し、和演算の正確な対数値を求めるものである。ここでは、このような補正をｌｏｇ－ｓｕｍ補正と称するものとする。

【００４９】

【数１９】

$$\log\left(e^{x}+e^{y}\right)=\max\left(x, y\right)+\log\left(1+e^{-\left|x-y\right|}\right) \qquad (19)$$

【００５０】

ここで、上式（１９）における左辺に示す演算をｌｏｇ－ｓｕｍ演算と称するものとし、このｌｏｇ－ｓｕｍ演算の演算子を、「S. S. Pietrobon, “Implemntation and performance of a turbo/MAP decoder”, Int. J. Satellite Commun., vol. 16, pp. 23-46, Jan.-Feb. 1998」に記載されている記数法を踏襲し、次式（２０）に示すように、便宜上“＃”（ただし、同論文中では、“Ｅ”。）と表すものとする。さらに、ｌｏｇ－ｓｕｍ演算の累積加算演算の演算子を、次式（２１）に示すように、“＃Σ”（ただし、同論文中では、“Ｅ”。）と表すものとする。

【００５１】

【数２０】

$$x \# y = \log\left(e^{x} + e^{y}\right) \qquad (20)$$

【００５２】

【数２１】

$$\#\sum_{i=0}^{M-1} x_i = \left(\left(\cdots\left(\left(x_0 \# x_1\right) \# x_2\right)\cdots\right) \# x_{M-1}\right) \qquad (21)$$

【００５３】

これらの演算子を用いると、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおける対数尤度Ｉα_t，Ｉβ_t及び対数軟出力Ｉλ_tは、それぞれ、次式（２２）乃至次式（２４）に示すように表すことができる。なお、対数尤度Ｉγ_tは、上式（１７）で表されるため、ここでは、その記述を省略する。

【００５４】

【数２２】

$$\mathrm{I}\alpha_t(m) = \#\sum_{m'=0}^{M-1}\left(\mathrm{I}\alpha_{t-1}(m') + \mathrm{I}\gamma_t(m', m)\right) \qquad (22)$$

【００５５】

【数２３】

$$I\beta_t(m) = \#\sum_{m'=0}^{M-1}\left(I\beta_{t+1}(m') + I\gamma_{t+1}(m, m')\right) \tag{23}$$

【００５６】

【数２４】

$$\begin{aligned} I\lambda_{tj}(m) = & \#\sum_{\substack{m', m \\ i_j(m', m)=1}}\left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m) + I\beta_t(m)\right) \\ & - \#\sum_{\substack{m', m \\ i_j(m', m)=0}}\left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m) + I\beta_t(m)\right) \end{aligned} \tag{24}$$

【００５７】

なお、上式（２２）における右辺のステートｍ’におけるｌｏｇ－ｓｕｍ演算の累積加算演算は、ステートｍへの遷移が存在するステートｍ’の中で求めるものとし、上式（２３）における右辺のステートｍ’におけるｌｏｇ－ｓｕｍ演算の累積加算演算は、ステートｍからの遷移が存在するステートｍ’の中で求めるものとする。また、上式（２４）における右辺第１項のｌｏｇ－ｓｕｍ演算の累積加算演算は、入力が“１”のときにステートｍへの遷移が存在するステートｍ’の中で求め、第２項のｌｏｇ－ｓｕｍ演算の累積加算演算は、入力が“０”のときにステートｍへの遷移が存在するステートｍ’の中で求めるものとする。

【００５８】

したがって、復号装置２０３は、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う場合には、これらの関係に基づいて、先に図２６に示した一連の工程を経ることにより軟出力λ_tを求めることができる。

【００５９】

まず、復号装置２０３は、同図に示すように、ステップＳ２１１において、ｙ

$_t$を受信する毎に、上式（２２）及び上式（１７）を用いて、対数尤度Ｉα_t（ｍ）及びＩγ_t（ｍ’，ｍ）を算出する。

【００６０】

続いて、復号装置２０３は、ステップＳ２１２において、系列Y_1^Tの全てを受信した後に、上式（２３）を用いて、全ての時刻ｔにおける各ステートｍについて、対数尤度Ｉβ_t（ｍ）を算出する。

【００６１】

そして、復号装置２０３は、ステップＳ２１３において、ステップＳ２１１及びステップＳ２１２において算出した対数尤度Ｉα_t，Ｉβ_t及びＩγ_tを上式（２４）に代入し、各時刻ｔにおける対数軟出力Ｉλ_tを算出する。

【００６２】

復号装置２０３は、このような一連の処理を経ることによって、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。なお、上式（１９）において、右辺第２項に示す補正項は、変数｜ｘ－ｙ｜に対する１次元の関数で表されることから、復号装置２０３は、この値を図示しないＲＯＭ（Read Only Memory）等にテーブルとして予め記憶させておくことによって、正確な確率計算を行うことができる。

【００６３】

このようなＬｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムは、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムと比較すると演算量は増えるものの積演算を含むものではなく、その出力は、量子化誤差を除けば、ＢＣＪＲアルゴリズムの軟出力の対数値そのものに他ならない。

【００６４】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上述したｌｏｇ－ｓｕｍ補正の方法としては、上述したように、補正項の値をテーブル化しておく方法の他に、変数｜ｘ－ｙ｜との関係をいわゆる２次近似により近似する２次近似法、変数｜ｘ－ｙ｜を任意の区間に分割して各区間毎に所定の値を与える区間分割法等がある。補正項の値をテーブル化しておく方法を含め、これらの方法は、補正項の値をいかに正確に求めるかといった性

能を重視した補正である。しかしながら、これらの方法は、回路規模の増大や速度の遅延を招くといった問題があった。

【００６５】

そこで、ｌｏｇ－ｓｕｍ補正の方法としては、速度を重視した方法が検討されている。この方法としては、変数｜ｘ－ｙ｜との関係をいわゆる線形近似により近似する線形近似法、変数｜ｘ－ｙ｜における所定の区間の値を所定の閾値で決定する閾値近似法がある。

【００６６】

線形近似法は、図２７（Ａ）に示すように、曲線Ｃに示す関数Ｆ＝ｌｏｇ｛１＋ｅ＾（－｜ｘ－ｙ｜）｝を直線Ｌに示す線形関数で近似するものである。同図においては、直線Ｌとして、Ｆ＝－０．３（｜ｘ－ｙ｜）＋ｌｏｇ２を用いており、この場合、約０．１ｄＢ程度の劣化で補正項を求めることができる。

【００６７】

また、閾値近似法は、同図（Ｂ）に示すように、曲線Ｃに示す関数Ｆ＝ｌｏｇ｛１＋ｅ＾（－｜ｘ－ｙ｜）｝を曲線Ｔに示す階段関数で近似するものである。同図においては、曲線Ｔとして、０≦｜ｘ－ｙ｜＜１の区間ではｌｏｇ２を与え、｜ｘ－ｙ｜≧１の区間では０を与えるような関数を用いている。この場合、約０．２ｄＢ程度の劣化で補正項を求めることができる。

【００６８】

このように、ｌｏｇ－ｓｕｍ補正としては、様々な方法が検討されているが、一方で、未だ改善の余地が残るのが現状である。

【００６９】

また、ｌｏｇ－ｓｕｍ補正を行う際に限らず、上述した最大値演算を行うことによって、最も尤度の高いパスである最尤パスを求める際にも遅延が生じ、処理の高速化を妨げる要因となっている。

【００７０】

本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、性能を劣化させることなく、高速化を図ることができる復号装置及び復号方法を提供することを目的とする。

【００７１】

【課題を解決するための手段】

上述した目的を達成する本発明にかかる復号装置は、各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達する符号化がなされて受信した軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を対数表記した対数尤度を求め、この対数尤度を用いて復号を行う復号装置であって、各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスを選択するパス選択手段を備えることを特徴としている。

【００７２】

このような本発明にかかる復号装置は、パス選択手段によって、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、最尤パスを選択する。

【００７３】

また、上述した目的を達成する本発明にかかる復号方法は、各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達する符号化がなされて受信した軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を対数表記した対数尤度を求め、この対数尤度を用いて復号を行う復号方法であって、各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスを選択するパス選択工程を備えることを特徴としている。

【００７４】

このような本発明にかかる復号方法は、パス選択工程にて、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、最尤パスを選択する。

【００７５】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を適用した具体的な実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【００７６】

この実施の形態は、図１に示すように、ディジタル情報を図示しない送信装置

が備える符号化装置１により畳み込み符号化し、その出力を雑音のある無記憶通信路２を介して図示しない受信装置に入力して、この受信装置が備える復号装置３により復号する通信モデルに適用したデータ送受信システムである。

【００７７】

このデータ送受信システムにおいて、復号装置３は、符号化装置１により畳み込み符号化がなされた符号の復号を行うものであって、「Robertson, Villebrun and Hoeher, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the domain", IEEE Int. Conf. on Communications, pp. 1009-1013, June 1995」に記載されているＭａｘ－Ｌｏｇ－ＭＡＰアルゴリズム又はＬｏｇ－ＭＡＰアルゴリズム（以下、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズム又はＬｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムと称する。）に基づく最大事後確率（Maximum A Posteriori probability；以下、ＭＡＰと記す。）復号を行うものとして構成され、いわゆる確率α_t，β_t，γ_t、及び軟出力（soft-output）λ_tを自然対数を用いて対数表記した対数尤度（log likelihood）$I\alpha_t$，$I\beta_t$，$I\gamma_t$、及び対数軟出力$I\lambda_t$を求めるものである。

【００７８】

なお、以下では、復号装置３は、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づくＭＡＰ復号を行い、いわゆる線形近似によるｌｏｇ－ｓｕｍ補正を行うことで対数軟出力$I\lambda_t$を求めるものとして説明する。また、以下では、符号化装置１が備えるシフトレジスタの内容を表すM個のステート（遷移状態）をｍ（０，１，・・・，Ｍ－１）で表し、時刻ｔのステートをS_tで表す。さらに、１タイムスロットにｋビットの情報が入力されるものとすると、時刻ｔにおける入力を$i_t=(i_{t1}, i_{t2}, \cdots, i_{tk})$で表し、入力系統を$I_1^T=(i_1, i_2, \cdots, i_T)$で表す。このとき、ステートｍ'からステートｍへの遷移がある場合には、その遷移に対応する情報ビットを$i(m', m)=(i_1(m', m), i_2(m', m), \cdots, i_k(m', m))$で表す。さらにまた、１タイムスロットにｎビットの符号が出力されるものとすると、時刻ｔにおける出力を$x_t=(x_{t1}, x_{t2}, \cdots, x_{tn})$で表し、出力系統を$X_1^T=(x_1, x_2, \cdots, x_T)$で表す。このとき、ステートｍ'からステートｍへの遷移がある場合には、その

遷移に対応する符号ビットをｘ（ｍ’，ｍ）＝（x_1（ｍ’，ｍ），x_2（ｍ’，ｍ），・・・，x_n（ｍ’，ｍ））で表す。また、無記憶通信路２は、X_1^Tを入力とし、Y_1^Tを出力するものとする。ここで、１タイムスロットにｎビットの受信値が出力されるものとすると、時刻ｔにおける出力をy_t＝（y_{t1}，y_{t2}，・・・，y_{tn}）で表し、Y_1^T＝（y_1，y_2，・・・，y_T）で表す。

【００７９】

符号化装置１は、例えば図２に示すように、３つの排他的論理和回路１１，１３，１５と、２つのシフトレジスタ１２，１４とを有し、拘束長が“４”の畳み込み演算を行うものとして構成される。

【００８０】

排他的論理和回路１１は、２ビットの入力データi_tのうちの１ビットの入力データi_{t1}と、排他的論理和回路１５から供給されるデータとを用いて排他的論理和演算を行い、演算結果をシフトレジスタ１２に供給する。

【００８１】

シフトレジスタ１２は、保持している１ビットのデータを排他的論理和回路１３に供給し続ける。そして、シフトレジスタ１２は、クロックに同期させて、排他的論理和回路１１から供給される１ビットのデータを新たに保持し、このデータを排他的論理和回路１３に新たに供給する。

【００８２】

排他的論理和回路１３は、２ビットの入力データi_tのうちの１ビットの入力データi_{t2}と、シフトレジスタ１２から供給されるデータと、排他的論理和回路１５から供給されるデータとを用いて排他的論理和演算を行い、演算結果をシフトレジスタ１４に供給する。

【００８３】

シフトレジスタ１４は、保持している１ビットのデータを排他的論理和回路１５に供給し続ける。そして、シフトレジスタ１４は、クロックに同期させて、排他的論理和回路１３から供給される１ビットのデータを新たに保持し、このデータを排他的論理和回路１５に新たに供給する。

【００８４】

排他的論理和回路１５は、２ビットの入力データｉ $_{t1}$, ｉ $_{t2}$と、シフトレジスタ１４から供給されるデータとを用いて排他的論理和演算を行い、演算結果を３ビットの出力データｘ $_{t}$のうちの１ビットの出力データｘ $_{t3}$として外部に出力するとともに、排他的論理和回路１１，１３に供給する。

【００８５】

このような符号化装置１は、２ビットの入力データｉ $_{t1}$, ｉ $_{t2}$を入力すると、これらの入力データｉ $_{t1}$, ｉ $_{t2}$を、それぞれ、３ビットの出力データｘ $_{t}$のうちの組織成分の２ビットの出力データｘ $_{t1}$, ｘ $_{t2}$として、そのまま外部に出力するとともに、入力データｉ $_{t1}$, ｉ $_{t2}$に対して再帰的畳み込み演算を行い、演算結果を３ビットの出力データｘ $_{t}$のうちの１ビットの出力データｘ $_{t3}$として外部に出力する。すなわち、符号化装置１は、符号化率が“２／３”の再帰的組織畳み込み演算を行い、出力データｘ $_{t}$を外部に出力する。

【００８６】

この符号化装置１におけるトレリスを記述すると、図３に示すようになる。同図において、各パスに付与されているラベルは、２ビットの入力データｉ $_{t1}$, ｉ $_{t2}$／３ビットの出力データｘ $_{t1}$, ｘ $_{t2}$, ｘ $_{t3}$を示している。ここでは、ステートは、シフトレジスタ１２の内容とシフトレジスタ１４の内容とを順次並べたものであり、“００”、“１０”、“０１”、“１１”のステート番号を、それぞれ、“０”、“１”、“２”、“３”と表している。このように、符号化装置１におけるステート数Ｍは４となり、トレリスは、各ステートから次時刻におけるステートへと４本のパスが到達する構造を有する。なお、以下の説明では、各ステート番号に対応するステートを指示する場合には、それぞれ、ステート０、ステート１、ステート２、ステート３と称するものとする。

【００８７】

このような符号化装置１により符号化された出力データｘ $_{t}$は、無記憶通信路２を介して受信装置に出力される。

【００８８】

一方、復号装置３は、図４に示すように、各部を制御するコントローラ３１と、第１の対数尤度である対数尤度Ｉγを算出して記憶する第１の確率算出手段で

あるＩγ算出・記憶回路３２と、第２の対数尤度である対数尤度Ｉαを算出して記憶する第２の確率算出手段であるＩα算出・記憶回路３３と、第３の対数尤度である対数尤度Ｉβを算出して記憶する第３の確率算出手段であるＩβ算出・記憶回路３４と、対数軟出力Ｉλ_tを算出する軟出力算出手段である軟出力算出回路３５とを備える。この復号装置３は、無記憶通信路２上で発生したノイズの影響によりアナログ値をとり軟入力（soft-input）とされる受信値y_tから対数軟出力Ｉλ_tを求めることによって、符号化装置１における入力データi_tを推定するものである。

【００８９】

コントローラ３１は、Ｉγ算出・記憶回路３２、Ｉα算出・記憶回路３３及びＩβ算出・記憶回路３４に対して、それぞれ、コントロール信号ＳＣγ，ＳＣα及びＳＣβを供給し、各部の動作を制御する。

【００９０】

Ｉγ算出・記憶回路３２は、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣγによる制御の下に、受信値y_tと、事前確率情報（a priori probability information）Pr_tとを用いて、受信値y_t毎に、次式（２５）に示す演算を行い、各時刻ｔにおける対数尤度Ｉγ_tを算出して記憶する。すなわち、Ｉγ算出・記憶回路３２は、受信値y_t毎に、符号の出力パターンと受信値により決定される確率γを対数表記した対数尤度Ｉγを算出する。

【００９１】

【数２５】

$$I\gamma_t(m', m) = \log\left(Pr\left\{i_t = i(m', m)\right\}\right) + \log\left(Pr\left\{y_t \mid x(m', m)\right\}\right) \qquad (25)$$

【００９２】

なお、事前確率情報Pr_tは、次式（２６）に示すように、入力データi_{t1},

i_{t2}のそれぞれが“１”である確率Ｐｒ｛i_t＝１｝又は入力データi_{t1}，i_{t2}のそれぞれが“０”である確率Ｐｒ｛i_t＝０｝として与えられる。また、事前確率情報Ｐｒ$_t$は、確率Ｐｒ｛i_t＝１｝と確率Ｐｒ｛i_t＝０｝との比の自然対数値である対数尤度比（log likelihood ratio）を入力し、確率Ｐｒ｛i_t＝１｝と確率Ｐｒ｛i_t＝０｝との和が“１”であることを考慮して、確率Ｐｒ｛i_t＝１｝又は確率Ｐｒ｛i_t＝０｝として求められてもよい。

【００９３】

【数２６】

$$Pr_t = \begin{cases} \log Pr\{i_t = 1\} \\ \log Pr\{i_t = 0\} \end{cases} \qquad (26)$$

【００９４】

そして、Ｉγ算出・記憶回路３２は、記憶した対数尤度Ｉγ$_t$をＩα算出・記憶回路３３、Ｉβ算出・記憶回路３４及び軟出力算出回路３５に供給する。このとき、Ｉγ算出・記憶回路３２は、Ｉα算出・記憶回路３３、Ｉβ算出・記憶回路３４及び軟出力算出回路３５のそれぞれにおける処理に適した順序で対数尤度Ｉγ$_t$を供給する。なお、以下の説明では、Ｉγ算出・記憶回路３２からＩα算出・記憶回路３３に供給される対数尤度Ｉγ$_t$をＩγ（α）と表し、Ｉγ算出・記憶回路３２からＩβ算出・記憶回路３４に供給される対数尤度Ｉγ$_t$をＩγ（β１），Ｉγ（β２）と表し、Ｉγ算出・記憶回路３２から軟出力算出回路３５に供給される対数尤度Ｉγ$_t$をＩγ（λ）と表すものとする。

【００９５】

Ｉα算出・記憶回路３３は、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣαによる制御の下に、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（α）を用いて、次式（２７）に示す演算を行い、各時刻ｔにおける対数尤度Ｉα$_t$を算出して記憶する。なお、次式（２７）における演算子“＃”は、いわゆるｌｏｇ－ｓｕｍ演算を示すものであり、入力“０”でステートm’からステ

ートｍへと遷移するときにおける対数尤度と、入力“１”でステートｍ’’からステートｍへと遷移するときにおける対数尤度とのｌｏｇ－ｓｕｍ演算を示すものである。より具体的には、Ｉα算出・記憶回路３３は、次式（２８）に示す演算を行うことによって、各時刻ｔにおける対数尤度$I\alpha_t$を算出する。すなわち、Ｉα算出・記憶回路３３は、対数尤度Ｉγに基づいて、受信値y_t毎に、符号化開始ステートから時系列順に各ステートに至る確率αを対数表記した対数尤度Ｉαを算出する。そして、Ｉα算出・記憶回路３３は、記憶した対数尤度$I\alpha_t$を軟出力算出回路３５に供給する。このとき、Ｉα算出・記憶回路３３は、軟出力算出回路３５における処理に適した順序で対数尤度$I\alpha_t$を供給する。なお、以下の説明では、Ｉα算出・記憶回路３３から軟出力算出回路３５に供給される対数尤度$I\alpha_t$をＩα（λ）と表すものとする。

【００９６】

【数２７】

$$
\begin{aligned}
I\alpha_t(m) = &\left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m)\right) \\
&\# \left(I\alpha_{t-1}(m'') + I\gamma_t(m'', m)\right)
\end{aligned}
\qquad (27)
$$

【００９７】

【数２８】

$$
\begin{aligned}
I\alpha_t(m) = \max &\left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m), I\alpha_{t-1}(m'') + I\gamma_t(m'', m)\right) \\
&+ \log\left(1 + e^{-\left|\left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m)\right) - \left(I\alpha_{t-1}(m'') + I\gamma_t(m'', m)\right)\right|}\right)
\end{aligned}
\qquad (28)
$$

【００９８】

Ｉβ算出・記憶回路３４は、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣβによる制御の下に、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉ

γ（β１），Ｉγ（β２）を用いて、次式（２９）に示す演算を行い、各時刻における２系統の対数尤度Ｉβ_tを並列的に算出して記憶する。なお、次式（２９）における演算子“＃”は、上述したように、ｌｏｇ－ｓｕｍ演算を示すものであり、入力“０”でステートｍ’からステートｍへと遷移するときにおける対数尤度と、入力“１”でステートｍ’’からステートｍへと遷移するときにおける対数尤度とのｌｏｇ－ｓｕｍ演算を示すものである。より具体的には、Ｉβ算出・記憶回路３４は、次式（３０）に示す演算を行うことによって、各時刻ｔにおける対数尤度Ｉβ_tを算出する。すなわち、Ｉβ算出・記憶回路３４は、対数尤度Ｉγに基づいて、受信値y_t毎に、打ち切りステートから時系列の逆順に各ステートに至る確率βを対数表記した対数尤度Ｉβを算出する。そして、Ｉβ算出・記憶回路３４は、記憶した対数尤度Ｉβ_tのうち、１系統の対数尤度Ｉβ_tを軟出力算出回路３５に供給する。このとき、Ｉβ算出・記憶回路３４は、軟出力算出回路３５における処理に適した順序で対数尤度Ｉβ_tを供給する。なお、以下の説明では、Ｉβ算出・記憶回路３４から軟出力算出回路３５に供給される対数尤度Ｉβ_tをＩβ（λ）と表すものとする。

【００９９】

【数２９】

$$
\begin{aligned}
\mathrm{I}\beta_t(m) = &\left(\mathrm{I}\beta_{t+1}(m') + \mathrm{I}\gamma_{t+1}(m, m')\right) \\
&\#\left(\mathrm{I}\beta_{t+1}(m'') + \mathrm{I}\gamma_{t+1}(m, m'')\right)
\end{aligned}
\qquad (29)
$$

【０１００】

【数３０】

$$
\mathrm{I}\beta_t(m)=\max\left(\mathrm{I}\beta_{t+1}(m')+\mathrm{I}\gamma_{t+1}(m,m'),\mathrm{I}\beta_{t+1}(m'')+\mathrm{I}\gamma_{t+1}(m,m'')\right)+\log\left(1+e^{-\left|\left(\mathrm{I}\beta_{t+1}(m')+\mathrm{I}\gamma_{t+1}(m,m')\right)-\left(\mathrm{I}\beta_{t+1}(m'')+\mathrm{I}\gamma_{t+1}(m,m'')\right)\right|}\right) \quad (30)
$$

【０１０１】

軟出力算出回路３５は、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（λ）と、Ｉα算出・記憶回路３３から供給された対数尤度Ｉα（λ）と、Ｉβ算出・記憶回路３４から供給された対数尤度Ｉβ（λ）とを用いて、次式（３１）に示す演算を行い、各時刻における対数軟出力Ｉλ$_t$を算出して記憶する。そして、軟出力算出回路３５は、記憶した対数軟出力Ｉλ$_t$を時系列順に並べ替えた後、外部に出力する。なお、次式（３１）における演算子“＃Σ”は、上述した演算子“＃”で表されるｌｏｇ－ｓｕｍ演算の累積加算演算を示すものである。

【０１０２】

【数３１】

$$
\mathrm{I}\lambda_t=\underset{\substack{m',m\\ i(m',m)=1}}{\#\sum}\left(\mathrm{I}\alpha_{t-1}(m')+\mathrm{I}\gamma_t(m',m)+\mathrm{I}\beta_t(m)\right)-\underset{\substack{m',m\\ i(m',m)=0}}{\#\sum}\left(\mathrm{I}\alpha_{t-1}(m')+\mathrm{I}\gamma_t(m',m)+\mathrm{I}\beta_t(m)\right) \quad (31)
$$

【０１０３】

このような復号装置３は、受信装置により受信された軟入力の受信値ｙ$_t$を入力すると、Ｉγ算出・記憶回路３２によって、受信値ｙ$_t$を受信する毎に、対数尤度Ｉγ$_t$（ｍ’，ｍ）を算出し、Ｉα算出・記憶回路３３によって、対数尤度Ｉα$_t$（ｍ）を算出した後、全ての受信値ｙ$_t$を受信すると、Ｉβ算出・記憶回路

３４によって、全ての時刻ｔにおける各ステートｍについて、対数尤度Ｉβ_t（ｍ）を算出する。そして、復号装置３は、軟出力算出回路３５によって、算出した対数尤度Ｉα_t，Ｉβ_t及びＩγ_tを用いて、各時刻ｔにおける対数軟出力Ｉλ_tを算出する。このように、復号装置３は、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。

【０１０４】

さて、復号装置３は、Ｉα算出・記憶回路３３及びＩβ算出・記憶回路３４における対数尤度Ｉα_t，Ｉβ_tの算出の際の高速化を図ることができるものである。回路規模を削減したものである。そこで、以下では、Ｉα算出・記憶回路３３及びＩβ算出・記憶回路３４について、より具体的に詳述する。

【０１０５】

まず、Ｉα算出・記憶回路３３について説明する。Ｉα算出・記憶回路３３は、図５に示すように、算出された対数尤度Ｉαと対数尤度の初期値Ｉα_0とのいずれか一方を選択するセレクタ４１と、初期値Ｉα_0又は対数尤度Ｉαを保持するレジスタ４２と、各ステートにおける対数尤度Ｉαを算出するＩα算出回路４３と、各ステートにおける対数尤度Ｉαを順次保持するＲＡＭ（Random Access Memory）４４，４５と、これらのＲＡＭ４４，４５から読み出した対数尤度Ｉαを選択的に取り出す選択回路４６とを有する。

【０１０６】

セレクタ４１は、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣαによる制御の下に、初期化時には対数尤度の初期値Ｉα_0を選択し、初期化時以外の時にはＩα算出回路４３から供給される対数尤度Ｉαを選択する。なお、初期化は、Ｉγ算出・記憶回路３２からの対数尤度Ｉγ（α）の出力が開始される１時刻前の時点で行われる。ここで、復号装置３が符号化装置１による符号化の開始時点を把握している場合には、初期値Ｉα_0としては、ステート０における値としてｌｏｇ１＝０が与えられ、その他のステートにおける値としてｌｏｇ０＝－∞が与えられる。一方、復号装置３が符号化装置１による符号化の開始時点を把握していない場合には、初期値Ｉα_0としては、全てのステートに対してｌｏｇ（１／Ｍ）、ここではｌｏｇ（１／４）が与えられるが、実際には、全てのス

テートに対して同じ値が与えられればよく、例えば全てのステートに対して０が与えられてもよい。セレクタ４１は、初期値Ｉα_0又は対数尤度Ｉαのうちの選択した一方をレジスタ４２に供給する。

【０１０７】

レジスタ４２は、セレクタ４１から供給される初期値Ｉα_0又は対数尤度Ｉαを保持する。そして、レジスタ４２は、次時刻において、保持している初期値Ｉα_0又は対数尤度ＩαをＩα算出回路４３及びＲＡＭ４４，４５に供給する。

【０１０８】

Ｉα算出回路４３は、図６に示すように、各ステートに応じた数、ここでは４つの加算比較選択回路４$7_0$，４$7_1$，４$7_2$，４$7_3$を有する。

【０１０９】

加算比較選択回路４$7_0$，４$7_1$，４$7_2$，４$7_3$には、それぞれ、トレリス上の遷移に基づいて、Ｉγ算出・記憶回路３２により算出されたトレリス上の出力“０００”、“００１”、“０１０”、“０１１”、“１００”、“１０１”、“１１０”、“１１１”に対応する枝の対数尤度Ｉγ_t［０００］，Ｉγ_t［００１］，Ｉγ_t［０１０］，Ｉγ_t［０１１］，Ｉγ_t［１００］，Ｉγ_t［１０１］，Ｉγ_t［１１０］，Ｉγ_t［１１１］と、各ステートにおける１時刻前の対数尤度Ｉα_{t-1}（０），Ｉα_{t-1}（１），Ｉα_{t-1}（２），Ｉα_{t-1}（３）が供給される。そして、加算比較選択回路４$7_0$，４$7_1$，４$7_2$，４$7_3$は、それぞれ、次時刻のステート０、ステート１、ステート２、ステート３における対数尤度Ｉαを求める。

【０１１０】

具体的には、加算比較選択回路４$7_0$は、対数尤度Ｉγ_t［０００］，Ｉγ_t［１０１］，Ｉγ_t［１１１］，Ｉγ_t［０１０］を入力するとともに、対数尤度Ｉα_{t-1}（０），Ｉα_{t-1}（１），Ｉα_{t-1}（２），Ｉα_{t-1}（３）を入力し、ステート０における対数尤度Ｉα_t（０）を求める。

【０１１１】

また、加算比較選択回路４$7_1$は、対数尤度Ｉγ_t［０１１］，Ｉγ_t［１１０］，Ｉγ_t［１００］，Ｉγ_t［００１］を入力するとともに、対数尤度Ｉα_{t-1}

（０），Ｉα_{t-1}（１），Ｉα_{t-1}（２），Ｉα_{t-1}（３）を入力し、ステート１における対数尤度Ｉα_{t}（１）を求める。

【０１１２】

さらに、加算比較選択回路４$7_{2}$は、対数尤度Ｉγ_{t}［１０１］，Ｉγ_{t}［０００］，Ｉγ_{t}［０１０］，Ｉγ_{t}［１１１］を入力するとともに、対数尤度Ｉα_{t-1}（０），Ｉα_{t-1}（１），Ｉα_{t-1}（２），Ｉα_{t-1}（３）を入力し、ステート２における対数尤度Ｉα_{t}（２）を求める。

【０１１３】

さらにまた、加算比較選択回路４$7_{3}$は、対数尤度Ｉγ_{t}［１１０］，Ｉγ_{t}［０１１］，Ｉγ_{t}［００１］，Ｉγ_{t}［１００］を入力するとともに、対数尤度Ｉα_{t-1}（０），Ｉα_{t-1}（１），Ｉα_{t-1}（２），Ｉα_{t-1}（３）を入力し、ステート３における対数尤度Ｉα_{t}（３）を求める。

【０１１４】

このようなＩα算出回路４３は、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（α）と、レジスタ４２に保持されていた１時刻前の初期値Ｉα_{0}又は対数尤度Ｉαとを用いて、上式（２７）に示した演算、すなわち、上式（２８）に示した演算を行い、次時刻の各ステートにおける対数尤度Ｉαを算出する。Ｉα算出回路４３は、算出した対数尤度Ｉαをセレクタ４１に供給する。なお、加算比較選択回路４$7_{0}$，４$7_{1}$，４$7_{2}$，４$7_{3}$については、後に詳述する。

【０１１５】

ＲＡＭ４４，４５は、それぞれ、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣαによる制御の下に、レジスタ４２から供給された対数尤度Ｉα（０），Ｉα（１），Ｉα（２），Ｉα（３）を順次保持する。ここで、対数尤度Ｉα（０），Ｉα（１），Ｉα（２），Ｉα（３）のビット数を、それぞれ、例えば８ビットとすると、ＲＡＭ４４，４５は、それぞれ、３２ビットを１ワードとして、対数尤度Ｉα（０），Ｉα（１），Ｉα（２），Ｉα（３）を保持する。これらのＲＡＭ４４，４５に保持された対数尤度Ｉα（０），Ｉα（１），Ｉα（２），Ｉα（３）は、選択回路４６により所定の順序で読み出される。

【０１１６】

選択回路４６は、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣαによる制御の下に、ＲＡＭ４４，４５から読み出した対数尤度Ｉα（０），Ｉα（１），Ｉα（２），Ｉα（３）を選択的に取り出し、対数尤度Ｉα（λ）として軟出力算出回路３５に供給する。

【０１１７】

このようなＩα算出・記憶回路３３は、Ｉγ算出・記憶回路３２からの対数尤度Ｉγ（α）の出力が開始される１時刻前の時点で初期化を行い、セレクタ４１により選択された初期値Ｉα_0をレジスタ４２に保持させる。そして、Ｉα算出・記憶回路３３は、以後のクロック周期において、Ｉα算出回路４３によって、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（α）と、レジスタ４２から供給された１時刻前の対数尤度Ｉαとを用いて、次時刻における対数尤度Ｉαを順次算出し、その対数尤度Ｉαをレジスタ４２に新たに保持させる。また、Ｉα算出・記憶回路３３は、レジスタ４２に保持された各ステートにおける対数尤度Ｉα（０），Ｉα（１），Ｉα（２），Ｉα（３）を順次ＲＡＭ４４，４５に保持させるとともに、選択回路４６により所定の順序で読み出し、対数尤度Ｉα（λ）として軟出力算出回路３５に供給する。

【０１１８】

つぎに、Ｉβ算出・記憶回路３４について説明する。Ｉβ算出・記憶回路３４は、図７に示すように、各ステートにおける対数尤度Ｉβを算出するＩβ算出回路51_1，51_2と、算出された対数尤度Ｉβと対数尤度の初期値Ｉβａ，Ｉβｂとのいずれか一方を選択するセレクタ52_1，52_2と、初期値Ｉβａ，Ｉβｂ又は対数尤度Ｉβを保持するレジスタ53_1，53_2と、これらのレジスタ53_1，53_2から供給された対数尤度Ｉβを選択的に取り出す選択回路５４とを有する。

【０１１９】

Ｉβ算出回路51_1，51_2は、それぞれ、図８に示すように、各ステートに応じた数、ここでは４つの加算比較選択回路55_0，55_1，55_2，55_3を有する。

【０１２０】

加算比較選択回路５$5_0$，５$5_1$，５$5_2$，５$5_3$には、それぞれ、トレリス上の遷移に基づいて、Ｉγ算出・記憶回路３２により算出されたトレリス上の出力“０００”、“００１”、“０１０”、“０１１”、“１００”、“１０１”、“１１０”、“１１１”に対応する枝の対数尤度Ｉγ_t［０００］，Ｉγ_t［００１］，Ｉγ_t［０１０］，Ｉγ_t［０１１］，Ｉγ_t［１００］，Ｉγ_t［１０１］，Ｉγ_t［１１０］，Ｉγ_t［１１１］と、各ステートにおける対数尤度Ｉβ_t（０），Ｉβ_t（１），Ｉβ_t（２），Ｉβ_t（３）が供給される。そして、加算比較選択回路５$5_0$，５$5_1$，５$5_2$，５$5_3$は、それぞれ、１時刻前のステート０、ステート１、ステート２、ステート３における対数尤度Ｉβを求める。

【０１２１】

具体的には、加算比較選択回路５$5_0$は、対数尤度Ｉγ_t［０００］，Ｉγ_t［０１１］，Ｉγ_t［１０１］，Ｉγ_t［１１０］を入力するとともに、対数尤度Ｉβ_t（０），Ｉβ_t（１），Ｉβ_t（２），Ｉβ_t（３）を入力し、ステート０における対数尤度Ｉβ_{t-1}（０）を求める。

【０１２２】

また、加算比較選択回路５$5_1$は、対数尤度Ｉγ_t［１０１］，Ｉγ_t［１１０］，Ｉγ_t［０００］，Ｉγ_t［０１１］を入力するとともに、対数尤度Ｉβ_t（０），Ｉβ_t（１），Ｉβ_t（２），Ｉβ_t（３）を入力し、ステート１における対数尤度Ｉβ_{t-1}（１）を求める。

【０１２３】

さらに、加算比較選択回路５$5_2$は、対数尤度Ｉγ_t［１１１］，Ｉγ_t［１００］，Ｉγ_t［０１０］，Ｉγ_t［００１］を入力するとともに、対数尤度Ｉβ_t（０），Ｉβ_t（１），Ｉβ_t（２），Ｉβ_t（３）を入力し、ステート２における対数尤度Ｉβ_{t-1}（２）を求める。

【０１２４】

さらにまた、加算比較選択回路５$5_3$は、対数尤度Ｉγ_t［０１０］，Ｉγ_t［００１］，Ｉγ_t［１１１］，Ｉγ_t［１００］を入力するとともに、対数尤度Ｉβ_t（０），Ｉβ_t（１），Ｉβ_t（２），Ｉβ_t（３）を入力し、ステート３における対数尤度Ｉβ_{t-1}（３）を求める。

【０１２５】

このようなＩβ算出回路$５１_{１}$，$５１_{２}$は、それぞれ、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（β１），Ｉγ（β２）と、レジスタ$５３_{１}$，$５３_{２}$に保持されていた初期値Ｉβａ，Ｉβｂ又は対数尤度Ｉβとを用いて、上式（２９）に示した演算、すなわち、上式（３０）に示した演算を行い、１時刻前の各ステートにおける対数尤度Ｉβを算出する。ここで、対数尤度Ｉβ（０），Ｉβ（１），Ｉβ（２），Ｉβ（３）のビット数は、それぞれ、例えば８ビットであり、総ビット数は、３２ビットとなる。Ｉβ算出回路$５１_{１}$，$５１_{２}$は、それぞれ、算出した対数尤度Ｉβをセレクタ$５２_{１}$，$５２_{２}$に供給する。なお、加算比較選択回路$５５_{０}$，$５５_{１}$，$５５_{２}$，$５５_{３}$については、後に詳述する。

【０１２６】

セレクタ$５２_{１}$，$５２_{２}$は、それぞれ、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣβによる制御の下に、初期化時には対数尤度の初期値Ｉβａ，Ｉβｂを選択し、初期化時以外の時にはＩβ算出回路$５１_{１}$，$５１_{２}$のそれぞれから供給される対数尤度Ｉβを選択する。なお、初期化は、Ｉγ算出・記憶回路３２からの対数尤度Ｉγ（β１），Ｉγ（β２）の出力が開始される１時刻前の時点で行われ、以後打ち切り長の２倍の長さの周期毎に行われる。ここで、初期値Ｉβａ，Ｉβｂとしては、通常、全てのステートに対して例えば０やｌｏｇ（１／Ｍ）、ここではｌｏｇ（１／４）といったように、同じ値が与えられるが、終結された符号を復号する際には、終結するステートにおける値としてｌｏｇ１＝０が与えられ、その他のステートにおける値としてｌｏｇ０＝－∞が与えられる。セレクタ$５２_{１}$，$５２_{２}$は、それぞれ、初期値Ｉβａ，Ｉβｂ又は対数尤度Ｉβのうちの選択した一方をレジスタ$５３_{１}$，$５３_{２}$に供給する。

【０１２７】

レジスタ$５３_{１}$，$５３_{２}$は、それぞれ、セレクタ$５２_{１}$，$５２_{２}$から供給される初期値Ｉβａ，Ｉβｂ又は対数尤度Ｉβを保持する。そして、レジスタ$５３_{１}$，$５３_{２}$は、それぞれ、次時刻において、保持している初期値Ｉβａ，Ｉβｂ又は対数尤度ＩβをＩβ算出回路$５１_{１}$，$５１_{２}$及び選択回路５４に供給する。

【０１２８】

選択回路５４は、コントローラ３１から供給されたコントロール信号ＳＣβによる制御の下に、レジスタ５３$_1$，５３$_2$のそれぞれから供給された対数尤度Ｉβ（０），Ｉβ（１），Ｉβ（２），Ｉβ（３）を選択的に取り出し、対数尤度Ｉβ（λ）として軟出力算出回路３５に供給する。

【０１２９】

このようなＩβ算出・記憶回路３４は、Ｉγ算出・記憶回路３２からの対数尤度Ｉγ（β１）の出力が開始される１時刻前の時点及び以後打ち切り長の２倍の長さの周期毎に初期化を行い、セレクタ５２$_1$により選択された初期値Ｉβａをレジスタ５３$_1$に保持させる。そして、Ｉβ算出・記憶回路３４は、以後のクロック周期において、Ｉβ算出回路５１$_1$によって、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（β１）と、レジスタ５２$_1$から供給された対数尤度Ｉβとを用いて、１時刻前における対数尤度Ｉβを順次算出し、その対数尤度Ｉβをレジスタ５３$_1$に新たに保持させる。

【０１３０】

また、Ｉβ算出・記憶回路３４は、Ｉγ算出・記憶回路３２からの対数尤度Ｉγ（β２）の出力が開始される１時刻前の時点及び以後打ち切り長の２倍の長さの周期毎に初期化を行い、セレクタ５２$_2$により選択された初期値Ｉβｂをレジスタ５３$_2$に保持させる。そして、Ｉβ算出・記憶回路３４は、以後のクロック周期において、Ｉβ算出回路５１$_2$によって、Ｉγ算出・記憶回路３２から供給された対数尤度Ｉγ（β２）と、レジスタ５２$_2$から供給された対数尤度Ｉβとを用いて、１時刻前における対数尤度Ｉβを順次算出し、その対数尤度Ｉβをレジスタ５３$_2$に新たに保持させる。そして、Ｉβ算出・記憶回路３４は、レジスタ５３$_1$，５３$_2$のそれぞれに保持された各ステートにおける対数尤度Ｉβ（０），Ｉβ（１），Ｉβ（２），Ｉβ（３）を選択回路５４により所定の順序で読み出し、対数尤度Ｉβ（λ）として軟出力算出回路３５に供給する。

【０１３１】

さて、Ｉα算出・記憶回路３３が有する加算比較選択回路４７$_0$，４７$_1$，４７$_2$，４７$_3$と、Ｉβ算出・記憶回路３４が有する加算比較選択回路５５$_0$，５５$_1$，５５$_2$，５５$_3$について説明するが、これらの加算比較選択回路４７$_0$，４７$_1$，４

7_2，47_3，55_0，55_1，55_2，55_3は、それぞれ、入力と出力が異なるものの同一の構成からなる。そこで、以下では、加算比較選択回路47_0，47_1，47_2，47_3，55_0，55_1，55_2，55_3を、加算比較選択回路６０又は加算比較選択回路１２０と総称して説明する。また、以下では、加算比較選択回路47_0，47_1，47_2，47_3のそれぞれに入力される４つの対数尤度Ｉγ及び加算比較選択回路55_0，55_1，55_2，55_3のそれぞれに入力される４つの対数尤度Ｉγを、ＩＡ，ＩＢ，ＩＣ，ＩＤと総称し、加算比較選択回路47_0，47_1，47_2，47_3のそれぞれに入力される４つの対数尤度Ｉα及び加算比較選択回路55_0，55_1，55_2，55_3のそれぞれに入力される４つの対数尤度Ｉβを、ＩＥ，ＩＦ，ＩＧ，ＩＨと総称し、加算比較選択回路47_0，47_1，47_2，47_3のそれぞれから出力される対数尤度Ｉα及び加算比較選択回路55_0，55_1，55_2，55_3のそれぞれから出力される対数尤度Ｉβを、ＩＪと総称して説明する。なお、以下の説明では、ハードウェアとして実装することを考慮して、確率を０以上の値で表し、確率が低いものほど大きな値で表すものとする。

【０１３２】

まず、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づいて実直に実装した加算比較選択回路６０について説明する。この加算比較選択回路６０は、図９に示すように、２つのデータを加算する加算器６１，６２，６９，７０と、これらの加算器６１，６２及び加算器６９，７０からの出力の大小を比較する比較回路６３，７１と、加算器６１，６２及び加算器６９，７０のそれぞれからの出力のいずれか一方を選択するセレクタ６４，７２と、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおける補正項の値を算出する補正項算出回路６５，７３，７９と、２つのデータの差分をとる差分器６６，７４，８０と、差分器６６，７４からの出力の大小を比較する比較回路７７と、差分器６６，７４のそれぞれからの出力のいずれか一方を選択するセレクタ７８とを有する。

【０１３３】

加算器６１は、対数尤度ＩＡ，ＩＥを入力し、これらの対数尤度ＩＡ，ＩＥを加算する。例えば、加算比較選択回路６０が加算比較選択回路47_0の場合には、加算器６１は、対数尤度$I\gamma_t$［０００］，対数尤度$I\alpha_{t-1}$（０）を入力し、

これらの対数尤度Ｉγ_t［０００］，対数尤度Ｉα_{t-1}（０）を加算する。加算器６１は、加算して得られたデータを比較回路６３、セレクタ６４及び補正項算出回路６５に供給する。なお、以下では、加算器６１から出力されるデータをＰとして説明する。

【０１３４】

加算器６２は、対数尤度ＩＢ，ＩＦを入力し、これらの対数尤度ＩＢ，ＩＦを加算する。例えば、加算比較選択回路６０が加算比較選択回路４７$_0$の場合には、加算器６２は、対数尤度Ｉγ_t［１０１］，対数尤度Ｉα_{t-1}（１）を入力し、これらの対数尤度Ｉγ_t［１０１］，対数尤度Ｉα_{t-1}（１）を加算する。加算器６２は、加算して得られたデータを比較回路６３、セレクタ６４及び補正項算出回路６５に供給する。なお、以下では、加算器６２から出力されるデータをＱとして説明する。

【０１３５】

比較回路６３は、加算器６１から供給されたデータＰの値と、加算器６２から供給されたデータＱの値との大小を比較する。比較回路６３は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ６４に供給する。

【０１３６】

セレクタ６４は、比較回路６３から供給された比較結果情報に基づいて、加算器６１から供給されたデータＰと、加算器６２から供給されたデータＱとのうち、値が小さいもの、すなわち、確率が高いものを選択する。セレクタ６４は、選択したデータを差分器６６に供給する。

【０１３７】

補正項算出回路６５は、加算器６１から供給されたデータＰと、加算器６２から供給されたデータＱとの差分値の絶対値を算出する絶対値算出回路６７と、この絶対値算出回路６７により算出された絶対値を用いて補正項を線形近似により算出する線形近似手段である線形近似回路６８とを有する。補正項算出回路６５は、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおける補正項の値、すなわち、上式（２８）又は上式（３０）における右辺第２項の値を算出する。具体的には、補正項算出回路６５は、補正項を、変数｜Ｐ－Ｑ｜に対する１次元の関数で表し、この関

数の傾きを表す係数$-a_1$（$a_1>0$）と、関数の切片を表す係数b_1とを用いて$-a_1|P-Q|+b_1$の形に線形近似した値を算出する。補正項算出回路６５は、算出して得られたデータZ_1を差分器６６に供給する。

【０１３８】

差分器６６は、セレクタ６４により選択されたデータと、補正項算出回路６５から供給されたデータZ_1との差分値を求め、この差分値を比較回路７７、セレクタ７８及び補正項算出回路７９に供給する。なお、以下では、差分器６６から出力されるデータをＴとして説明する。

【０１３９】

加算器６９は、対数尤度ＩＣ，ＩＧを入力し、これらの対数尤度ＩＣ，ＩＧを加算する。例えば、加算比較選択回路６０が加算比較選択回路47_0の場合には、加算器６９は、対数尤度$I\gamma_t$［１１１］，対数尤度$I\alpha_{t-1}$（２）を入力し、これらの対数尤度$I\gamma_t$［１１１］，対数尤度$I\alpha_{t-1}$（２）を加算する。加算器６９は、加算して得られたデータを比較回路７１、セレクタ７２及び補正項算出回路７３に供給する。なお、以下では、加算器６９から出力されるデータをＲとして説明する。

【０１４０】

加算器７０は、対数尤度ＩＤ，ＩＨを入力し、これらの対数尤度ＩＤ，ＩＨを加算する。例えば、加算比較選択回路６０が加算比較選択回路47_0の場合には、加算器７０は、対数尤度$I\gamma_t$［０１０］，対数尤度$I\alpha_{t-1}$（３）を入力し、これらの対数尤度$I\gamma_t$［０１０］，対数尤度$I\alpha_{t-1}$（３）を加算する。加算器７０は、加算して得られたデータを比較回路７１、セレクタ７２及び補正項算出回路７３に供給する。なお、以下では、加算器７０から出力されるデータをＳとして説明する。

【０１４１】

比較回路７１は、加算器６９から供給されたデータＲの値と、加算器７０から供給されたデータＳの値との大小を比較する。比較回路７１は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ７２に供給する。

【０１４２】

セレクタ７２は、比較回路７１から供給された比較結果情報に基づいて、加算器６９から供給されたデータＲと、加算器７０から供給されたデータＳとのうち、値が小さいもの、すなわち、確率が高いものを選択する。セレクタ７２は、選択したデータを差分器７４に供給する。

【０１４３】

補正項算出回路７３は、加算器６９から供給されたデータＲと、加算器７０から供給されたデータＳとの差分値の絶対値を算出する絶対値算出回路７５と、この絶対値算出回路７５により算出された絶対値を用いて補正項を線形近似により算出する線形近似手段である線形近似回路７６とを有する。補正項算出回路７３は、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおける補正項、すなわち、上式（２８）又は上式（３０）における右辺第２項の値を算出する。具体的には、補正項算出回路７３は、補正項を、変数｜Ｒ－Ｓ｜に対する１次元の関数で表し、この関数の傾きを表す係数$-a_2$（$a_2>0$）と、関数の切片を表す係数b_2とを用いて$-a_2|R-S|+b_2$の形に線形近似した値を算出する。補正項算出回路７３は、算出して得られたデータZ_2を差分器７４に供給する。

【０１４４】

差分器７４は、セレクタ７２により選択されたデータと、補正項算出回路７３から供給されたデータZ_2との差分値を求め、この差分値を比較回路７７、セレクタ７８及び補正項算出回路７９に供給する。なお、以下では、差分器７４から出力されるデータをＵとして説明する。

【０１４５】

比較回路７７は、差分器６６から供給されたデータＴの値と、差分器７４から供給されたデータＵの値との大小を比較する。比較回路７７は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ７８に供給する。

【０１４６】

セレクタ７８は、比較回路７７から供給された比較結果情報に基づいて、差分器６６から供給されたデータＴと、差分器７４から供給されたデータＵとのうち、値が小さいもの、すなわち、確率が高いものを選択する。セレクタ７８は、選択したデータを差分器８０に供給する。なお、このセレクタ７８により選択され

たデータは、上式（２８）又は上式（３０）における右辺第１項を示すものに他ならない。

【０１４７】

補正項算出回路７９は、差分器６６から供給されたデータＴと、差分器７４から供給されたデータＵとの差分値の絶対値を算出する絶対値算出回路８１と、この絶対値算出回路８１により算出された絶対値を用いて補正項を線形近似により算出する線形近似回路８２とを有する。補正項算出回路７９は、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムにおける補正項、すなわち、上式（２８）又は上式（３０）における右辺第２項の値を算出する。具体的には、補正項算出回路７９は、補正項を、変数｜Ｔ－Ｕ｜に対する１次元の関数で表し、この関数の傾きを表す係数$-a_3$（$a_3>0$）と、関数の切片を表す係数b_3とを用いて$-a_3|T-U|+b_3$の形に線形近似した値を算出する。補正項算出回路７９は、算出して得られたデータZ_3を差分器８０に供給する。

【０１４８】

差分器８０は、セレクタ７８により選択されたデータと、補正項算出回路７９から供給されたデータZ_3との差分値を求め、この差分値を対数尤度ＩＪとして出力する。例えば、加算比較選択回路６０が加算比較選択回路47_0の場合には、差分器８０は、対数尤度$I\alpha_t(0)$を出力する。

【０１４９】

ここで、このような加算比較選択回路６０における遅延量を見積もることを考える。なお、比較回路による遅延量及び差分器による遅延量は、ともに、加算器６１，６２のような通常の加算器による遅延量と同じものとする。

【０１５０】

加算比較選択回路６０において回避できない遅延量は、同図から明らかなように、１つの加算器に相当するものとして、加算器６１，６２，６９，７０による遅延量と、比較回路６３，７１による遅延量と、差分器６６，７４による遅延量と、比較回路７７による遅延量と、差分器８０による遅延量とがある。また、加算比較選択回路６０において回避できない遅延量は、１つのセレクタに相当するものとして、セレクタ６４，７２による遅延量と、セレクタ７８による遅延量と

がある。すなわち、加算比較選択回路６０は、少なくとも５つの加算器分の遅延量と、２つのセレクタ分の遅延量とを有することになる。さらに、加算比較選択回路６０には、補正項算出回路６５，７３，７９による遅延量が加わることになる。そこで、補正項算出回路６５，７３，７９による遅延量を見積もることを考える。

【０１５１】

まず、絶対値算出回路６７，７５，８１による遅延量を見積もる。なお、絶対値算出回路６７，７５，８１は、それぞれ、同様の構成を有することから、ここでは、絶対値算出回路６７，７５，８１を絶対値算出回路９０と総称して説明する。また、ここでは、絶対値算出回路６７に入力される２つのデータＰ，Ｑ、絶対値算出回路７５に入力される２つのデータＲ，Ｓ、及び絶対値算出回路８１に入力される２つのデータＴ，Ｕを、ＰＰ，ＱＱと総称し、絶対値算出回路６７から出力される絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜、絶対値算出回路７５から出力される絶対値データ｜Ｒ－Ｓ｜、及び絶対値算出回路８１から出力される絶対値データ｜Ｔ－Ｕ｜を、｜ＰＰ－ＱＱ｜と総称して説明する。

【０１５２】

絶対値算出回路９０は、例えば図１０に示すように、前段の２つの加算器からの出力の大小を比較する比較回路９１と、２つのデータの差分をとる２つの差分器９２，９３と、これらの差分器９２，９３のそれぞれからの出力のいずれか一方を選択するセレクタ９４とを有するものとして実装することができる。

【０１５３】

すなわち、絶対値算出回路９０は、比較回路９１によって、前段の一方の加算器から供給されたデータＰＰの値と、前段の他方の加算器から供給されたデータＱＱの値との大小を比較する。これと同時に、絶対値算出回路９０は、差分器９２によって、データＰＰとデータＱＱとの差分値（ＰＰ－ＱＱ）を求めるとともに、差分器９３によって、データＱＱとデータＰＰとの差分値（ＱＱ－ＰＰ）を求める。そして、絶対値算出回路９０は、セレクタ９４によって、比較回路９１による比較結果を示す比較結果情報に基づいて、差分値（ＰＰ－ＱＱ）と差分値（ＱＱ－ＰＰ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対

値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜として後段の線形近似回路に供給する。

【０１５４】

このような絶対値算出回路９０は、比較回路９１による処理と、差分器９２，９３による処理とが並列的に行われることから、１つの加算器と１つのセレクタ分の遅延量を有するものと見積もることができる。

【０１５５】

つぎに、線形近似回路６８，７６，８２による遅延量を見積もる。なお、線形近似回路６８，７６，８２は、それぞれ、同様の構成を有することから、ここでは、線形近似回路６８，７６，８２を線形近似回路１００と総称して説明する。また、ここでは、線形近似回路６８に入力される絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜、線形近似回路７６に入力される絶対値データ｜Ｒ－Ｓ｜、及び線形近似回路８２に入力される絶対値データ｜Ｔ－Ｕ｜を、｜ＰＰ－ＱＱ｜と総称し、線形近似回路６８から出力されるデータZ_1、線形近似回路７６から出力されるデータZ_2、及び線形近似回路８２から出力されるデータZ_3を、Ｚと総称して説明する。

【０１５６】

線形近似回路１００は、図１１に示すように、曲線Ｃに示す関数Ｆ＝ｌｏｇ｛１＋ｅ＾（－｜ＰＰ－ＱＱ｜）｝を直線L_1，L_2に示すような関数Ｆ＝－ａ｜ＰＰ－ＱＱ｜＋ｂで近似するいわゆる線形近似法によるｌｏｇ－ｓｕｍ補正を行い、補正項の値を算出する。このとき、線形近似回路１００は、少なくとも変数｜ＰＰ－ＱＱ｜に乗算すべき関数Ｆ＝－ａ｜ＰＰ－ＱＱ｜＋ｂの傾きを表す係数－ａを２のべき乗を用いて表現して補正項の値を算出する。ここで、同図を参照すると、２のべき乗を用いて表現される係数－ａとしては、直線L_1に示すように、$-a=-2^{-1}=-0.5$とするか、若しくは、直線L_2に示すように、$-a=-2^{-2}=-0.25$とすることが考えられる。ここでは、－ａ＝－０．２５として説明する。この場合、線形近似回路１００は、図１２に示すように、差分器１０１と、比較回路１０２と、セレクタ１０３とを有するものとして実装することができる。

【０１５７】

差分器１０１は、関数Ｆ＝－ａ｜ＰＰ－ＱＱ｜＋ｂの切片を表す係数ｂと、絶

対値算出回路９０から供給されたｎビットからなる絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの上位ｎ－２ビットとの差分値を求め、この差分値をセレクタ１０３に供給する。

【０１５８】

比較回路１０２は、係数ｂの値と、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの上位ｎ－２ビットで表されるデータ｜ＰＰ－ＱＱ｜［ｎ：３］の値との大小を比較する。比較回路１０２は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ１０３に供給する。

【０１５９】

セレクタ１０３は、比較回路１０２から供給された比較結果情報に基づいて、差分器１０１から供給されたデータと、“０”とのうち、いずれか一方を選択する。具体的には、セレクタ１０３は、比較回路１０２による比較の結果、｜ＰＰ－ＱＱ｜［ｎ：３］≦ｂであった場合には、差分器１０１から供給されたデータを選択し、｜ＰＰ－ＱＱ｜［ｎ：３］＞ｂであった場合には、“０”を選択する。セレクタ１０３は、選択したデータを補正項を示すデータＺとして、後段の差分器に供給する。

【０１６０】

このような線形近似回路１００は、絶対値算出回路９０から供給されたｎビットからなる絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜の下位１ビット目から下位２ビット目までを切り捨て、残りの上位ｎ－２ビットで表されるデータを係数ｂから差分する。すなわち、線形近似回路１００は、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位２ビットを切り捨ててビットシフトすることによって、｜ＰＰ－ＱＱ｜を１／４＝０．２５倍することができ、残りの上位ｎ－２ビットで表されるデータを係数ｂから差分することによって、結果として－０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜＋ｂの演算を実現することができる。

【０１６１】

また、線形近似回路１００は、補正項が正値であることから、比較回路１０２による比較の結果、差分器１０１から出力されたデータの値が負であった場合、すなわち、補正項が負値として算出された場合には、セレクタ１０３により“０

”を出力することによって、補正項が負値をとることを回避することができる。

【０１６２】

なお、例えば$-a=-2^{-1}=-0.5$とした場合には、線形近似回路１００は、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜の下位１ビットを切り捨ててビットシフトすればよく、係数－ａを表現するべき数に応じて、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜の下位ビットから切り捨てるようにすればよい。

【０１６３】

このような線形近似回路１００は、実際の乗算器を不要とし、差分器１０１による処理と、比較回路１０２による処理とが並列的に行われることから、１つの加算器と１つのセレクタ分の遅延量を有するものと見積もることができる。

【０１６４】

さらに、線形近似回路１００としては、係数ｂをも２のべき乗を用いて表現して補正項の値を算出するものも考えられる。すなわち、係数ｂを2^m-1で表現される値とし、$-a=-0.25$とした場合、線形近似回路１００は、図１３に示すように、インバータ１１１と、ＯＲゲート１１２と、セレクタ１１３とを有するものとして実装することができる。

【０１６５】

インバータ１１１は、絶対値算出回路９０から供給されたｎビットからなる絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位３ビット目から下位ｍ＋２ビット目までのｍビットを反転する。インバータ１１１は、反転して得られたデータをセレクタ１１３に供給する。

【０１６６】

ＯＲゲート１１２は、絶対値算出回路９０から供給されたｎビットからなる絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位ｍ＋３ビット目からｎビット目までの上位ｎ－ｍ－２ビットの論理和をとる。ＯＲゲート１１２は、求めた論理和をセレクタ１１３に供給する。

【０１６７】

セレクタ１１３は、ＯＲゲート１１２から供給された論理和に基づいて、インバータ１１１から供給されたデータと、“０”とのうち、いずれか一方を選択す

る。具体的には、セレクタ１１３は、ＯＲゲート１１２から供給された論理和が“０”であった場合には、インバータ１１１から供給されたデータを選択し、ＯＲゲート１１２から供給された論理和が“１”であった場合には、“０”を選択する。セレクタ１１３は、選択したデータを補正項を示すデータＺとして、後段の差分器に供給する。

【０１６８】

このような線形近似回路１００は、絶対値算出回路９０から供給されたｎビットからなる絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜の下位１ビット目から下位２ビット目までを切り捨て、残りの上位ｎ－２ビットのうちの下位３ビット目から下位ｍ＋２ビット目までのｍビットをインバータ１１１により反転する。これと同時に、線形近似回路１００は、ＯＲゲート１１２によって、下位ｍ＋３ビット目からｎビット目までのｎ－ｍ－２ビットの論理和をとる。

【０１６９】

すなわち、線形近似回路１００は、上述したように、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位２ビットを切り捨ててビットシフトすることによって、｜ＰＰ－ＱＱ｜を１／４＝０．２５倍することができる。したがって、線形近似回路１００は、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの上位ｎ－２ビットで表されるデータ｜ＰＰ－ＱＱ｜［ｎ：３］、すなわち、０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜を－１倍し、この値に2^{m}－１で表現される係数ｂを加算すればよい。

【０１７０】

ここで、線形近似回路１００による演算を論理式で表現するために、図１４（Ａ）に示すように、ｎビットからなる絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜の下位２ビットを切り捨てて得られる０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜をＡ＝（A_{n}, A_{n-1}, ・・・, A_{m+3}, A_{m+2}, ・・・, A_{3}）とし、残りの上位ｎ－２ビットのうちの下位３ビット目から下位ｍ＋２ビット目までのｍビットと、下位ｍ＋３ビット目からｎビット目までのｎ－ｍ－２ビットとを、それぞれ、Ａ’，Ａ’’として説明する。

【０１７１】

まず、線形近似回路１００により求めるべき“－０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜＋2^{m}－１＝－Ａ＋（2^{m}－１）”が負値をとる場合を考える。この場合、次式（３２

）に示す同値関係が成立する。すなわち、“－Ａ＋（２^{m}－１）”が負値をとる場合には、Ａ’’が正値をとることになる。換言すれば、“－Ａ＋（２^{m}－１）”が負値をとる場合には、Ａ’’を構成する全てのビットの論理和が“１”となることになる。

【０１７２】

【数３２】

$$-A+\left(2^{m}-1\right)<0 \Leftrightarrow A > 2^{m}-1 \\ \Leftrightarrow A'' > 0 \tag{32}$$

【０１７３】

一方、線形近似回路１００により求めるべき“－０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜＋２^{m}－１＝－Ａ＋（２^{m}－１）”が０以上の値をとる場合を考える。この場合、上式（３２）に示した同値関係よりＡ’’＝０であることから、次式（３３）が成立する。

【０１７４】

【数３３】

$$-A+\left(2^{m}-1\right)=-A'+\left(2^{m}-1\right) \tag{33}$$

【０１７５】

ここで、２^{m}－１は、ｍビット全てが“１”であるデータであることに着目すると、“－Ａ’＋（２^{m}－１）”は、同図（Ｂ）に示すように、Ａ’の否定で表される。

【０１７６】

以上の議論から、線形近似回路１００は、Ａの下位ｍビットの否定を求めればよいことになる。したがって、線形近似回路１００は、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位３ビット目から下位ｍ＋２ビット目までのｍビットで表されるデータ｜ＰＰ－ＱＱ｜［ｍ＋２：２］をインバータ１１１により反転することによって、“－０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜＋2^{m}－１”の演算を実現することができる。

【０１７７】

また、線形近似回路１００は、ＯＲゲート１１２によって、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位ｍ＋３ビット目からｎビット目までのｎ－ｍ－２ビットで表されるデータ｜ＰＰ－ＱＱ｜［ｍ＋３：ｎ］の論理和をとることによって、“－０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜＋2^{m}－１”の値の正負を判断することができる。そのため、線形近似回路１００は、補正項が正値であることから、ＯＲゲート１１２による論理和が“１”であった場合、すなわち、補正項が負値として算出された場合には、セレクタ１１３により“０”を出力することによって、補正項が負値をとることを回避することができる。

【０１７８】

なお、線形近似回路１００は、係数ａを－2^{-k}で表現したとき、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜の下位１ビット目から下位ｋビット目までを切り捨ててビットシフトし、下位ｋ＋１ビット目から下位ｍ＋ｋビット目までのｍビットを反転することになる。例として、ｎ＝５、ｍ＝２の場合、すなわち、“－０．２５｜ＰＰ－ＱＱ｜＋３”の演算を行う場合において、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜とデータＺとの関係を求めると、次表１に示すようになる。なお、同表には、上述したＡ’の否定、すなわち、インバータ１１１から出力されるデータについても示している。

【０１７９】

【表１】

表１ 絶対値データ |P−Q| とデータ Z との関係

|P−Q|		$\overline{A'}$	Z
31	11111	00	0
30	11110	00	0
29	11101	00	0
28	11100	00	0
27	11011	01	0
26	11010	01	0
25	11001	01	0
24	11000	01	0
23	10111	10	0
22	10110	10	0
21	10101	10	0
20	10100	10	0
19	10011	11	0
18	10010	11	0
17	10001	11	0
16	10000	11	0
15	01111	00	0
14	01110	00	0
13	01101	00	0
12	01100	00	0
11	01011	01	1
10	01010	01	1
9	01001	01	1
8	01000	01	1
7	00111	10	2
6	00110	10	2
5	00101	10	2
4	00100	10	2
3	00011	11	3
2	00010	11	3
1	00001	11	3
0	00000	11	3

【０１８０】

同表に示すように、線形近似回路１００は、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜が０乃至１２の範囲では、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜のうちの下位３ビット目から下位２＋２＝４ビット目までの２ビットで表されるデータ｜ＰＰ－ＱＱ｜［４：２］をインバータ１１１により反転したものをデータＺとして出力し、絶対値データ｜ＰＰ－ＱＱ｜が１３以上の範囲では、インバータ１１１からの出力が負となることから、０を出力する。

【０１８１】

このような線形近似回路１００は、実際の乗算器及び加算器を不要とし、ビットシフトとインバータのみで構成することができ、１つのセレクタ分の遅延量を有するものと見積もることができる。

【０１８２】

以上のように、補正項算出回路６５，７３，７９による遅延量は、線形近似回路６８，７６，８２を図１２に示すように構成することによって、２つの加算器と２つのセレクタ分として見積もることができ、線形近似回路６８，７６，８２を図１３に示すように構成することによって、１つの加算器と２つのセレクタ分にまで抑えることができる。

【０１８３】

したがって、加算比較選択回路６０における遅延量は、比較回路６３，７１による処理と、絶対値算出回路６７，７５による処理とが並列的に行われるとともに、比較回路７７による処理と、絶対値算出回路８１による処理とが並列的に行われることから、線形近似回路６８，７６，８２を図１２に示すように構成した場合には、７つの加算器と４つのセレクタ分となり、線形近似回路６８，７６，８２を図１３に示すように構成した場合には、５つの加算器と４つのセレクタ分となる。

【０１８４】

ここで、加算比較選択回路６０による遅延量をさらに小さくすることを考える。加算比較選択回路６０における処理の高速化を実現するために、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを用いて補正を行う。以下、この加算比較選択回路を上

述した加算比較選択回路１２０と総称して説明する。なお、ここでは、加算比較選択回路１２０は、最も尤度の高いパスと２番目に尤度の高いパスとの間だけで補正を行うものとする。

【０１８５】

まず、補正を考える前に、最も尤度の高いパスを高速に選択することを考える。なお、以下の説明では、最も尤度の高いパスを最尤パスと称し、２番目に尤度の高いパスを準最尤パスと称するものとする。

【０１８６】

加算比較選択回路１２０は、データＰ、データＱ、データＲ及びデータＳのうち、データＰの値とデータＱの値との大小を比較するとともに、データＲの値とデータＳの値との大小を比較する。また、加算比較選択回路１２０は、これと同時に、４つのデータの全てについて、２つのデータの組み合わせ値の大小を比較し、データＰの値とデータＱの値との大小の比較結果を示す比較結果情報と、データＲの値とデータＳの値との大小の比較結果を示す比較結果情報とに基づいて、選択するパスを決定する。

【０１８７】

具体的には、加算比較選択回路１２０は、このようにパスを選択するための回路として、図１５に示すパス選択手段であるパス選択部１３０を有することにより実装することができる。パス選択部１３０は、比較手段である６つの比較回路１３１，１３２，１３３，１３４，１３５，１３６と、６つのセレクタ１３７，１３８，１３９，１４０，１４１，１４２とを有する。

【０１８８】

比較回路１３１は、上述した比較回路６３に対応するものであり、データＰの値とデータＱの値との大小を比較する。比較回路１３１は、比較結果を示す比較結果情報C_1をセレクタ１３７，１３９，１４０に供給する。

【０１８９】

比較回路１３２は、上述した比較回路７１に対応するものであり、データＲの値とデータＳの値との大小を比較する。比較回路１３２は、比較結果を示す比較結果情報C_2をセレクタ１３８，１４１に供給する。

【０１９０】

比較回路１３３は、データＰの値とデータＲの値との大小を比較する。比較回路１３３は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ１３９に供給する。

【０１９１】

比較回路１３４は、データＱの値とデータＲの値との大小を比較する。比較回路１３４は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ１３９に供給する。

【０１９２】

比較回路１３５は、データＰの値とデータＳの値との大小を比較する。比較回路１３５は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ１４０に供給する。

【０１９３】

比較回路１３６は、データＱの値とデータＳの値との大小を比較する。比較回路１３６は、比較結果を示す比較結果情報をセレクタ１４０に供給する。

【０１９４】

セレクタ１３７は、上述したセレクタ６４に対応するものであり、比較回路１３１から供給された比較結果情報C_1に基づいて、データＰとデータＱとのうち、値が小さいもの、すなわち、確率が高いものを選択する。セレクタ１３７は、選択したデータをセレクタ１４２に供給する。

【０１９５】

セレクタ１３８は、上述したセレクタ７２に対応するものであり、比較回路１３２から供給された比較結果情報C_2に基づいて、データＲとデータＳとのうち、値が小さいもの、すなわち、確率が高いものを選択する。セレクタ１３８は、選択したデータをセレクタ１４２に供給する。

【０１９６】

セレクタ１３９は、比較回路１３１から供給された比較結果情報C_1に基づいて、比較回路１３３から供給される比較結果情報と、比較回路１３４から供給される比較結果情報とのうち、いずれか一方の比較結果情報を選択する。具体的には、セレクタ１３９は、比較回路１３１による比較の結果、Ｐ≦Ｑの場合には、比較回路１３３から供給される比較結果情報を選択し、Ｐ＞Ｑの場合には、比較回路１３４から供給される比較結果情報を選択する。セレクタ１３９は、選択し

た比較結果情報をセレクタ１４１に供給する。

【０１９７】

セレクタ１４０は、比較回路１３１から供給された比較結果情報C_1に基づいて、比較回路１３５から供給される比較結果情報と、比較回路１３６から供給される比較結果情報とのうち、いずれか一方の比較結果情報を選択する。具体的には、セレクタ１４０は、比較回路１３１による比較の結果、Ｐ≦Ｑの場合には、比較回路１３５から供給される比較結果情報を選択し、Ｐ＞Ｑの場合には、比較回路１３６から供給される比較結果情報を選択する。セレクタ１４０は、選択した比較結果情報をセレクタ１４１に供給する。

【０１９８】

セレクタ１４１は、比較回路１３２から供給された比較結果情報C_2に基づいて、セレクタ１３９から供給される比較結果情報と、セレクタ１４０から供給される比較結果情報とのうち、いずれか一方の比較結果情報を選択する。具体的には、セレクタ１４１は、比較回路１３２による比較の結果、Ｒ≦Ｓの場合には、セレクタ１３９から供給される比較結果情報を選択し、Ｒ＞Ｓの場合には、セレクタ１４０から供給される比較結果情報を選択する。セレクタ１４１は、選択した比較結果情報C_3をセレクタ１４２に供給する。

【０１９９】

セレクタ１４２は、上述したセレクタ７８に対応するものであり、セレクタ１４１から供給された比較結果情報C_3に基づいて、セレクタ１３７から供給されるデータと、セレクタ１３８から供給されるデータとのうち、いずれか一方のデータを選択して出力する。具体的には、セレクタ１４２は、セレクタ１４１から供給される比較結果選択情報C_3がセレクタ１３９から供給される比較選択情報である場合には、セレクタ１３７から供給されるデータを選択して出力し、セレクタ１４１から供給される比較結果選択情報C_3がセレクタ１４０から供給される比較選択情報である場合には、セレクタ１３８から供給されるデータを選択して出力する。

【０２００】

このようなパス選択部１３０は、各ステートに到達した４つのパスに対応する

データであるデータＰ、データＱ、データＲ及びデータＳの中から選択した２つのパスに対応するデータの組み合わせの全てについて尤度の大小を比較することによって、これらのデータＰ、データＱ、データＲ及びデータＳのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスに対応するデータを求め、これらのパスに対応するデータの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスに対応するデータを選択する。より具体的には、パス選択部１３０は、データＰ、データＱ、データＲ及びデータＳについて、いわば勝ち抜き戦に喩えられる動作を行うことによって、データＰの値、データＱの値、データＲの値及びデータＳの値の大小を比較し、最尤パスに対応するデータを選択する。

【０２０１】

すなわち、パス選択部１３０は、図１６（Ａ）に示すように、比較回路１３１によって、データＰとデータＱとの間で１回戦を行うとともに、比較回路１３２によって、データＲとデータＳとの間で１回戦を行う。これと同時に、パス選択部１３０は、比較回路１３３、比較回路１３４、比較回路１３５及び比較回路１３６によって、同図（Ｂ）乃至同図（Ｅ）に示すように、データＰ、データＱ、データＲ及びデータＳの間で行われる可能性のある４通りの決勝戦を行う。そして、パス選択部１３０は、比較回路１３１及び比較回路１３２による１回戦の結果を示す比較結果情報C_1，C_2に基づいて、４通りの決勝戦の可能性の中から最も高い確率で生じる組み合わせを示す比較選択情報C_3を決定し、この比較選択情報C_3に基づいて、データＰ、データＱ、データＲ及びデータＳの中から最尤パスに対応するデータを選択する。

【０２０２】

つぎに、最尤パスと準最尤パスとの間だけで補正を行うために選択すべき最尤パスに対応するデータと準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めることを考える。

【０２０３】

補正のために選択すべき準最尤パスに対応するデータは、最尤パスに対応するデータの１回戦における相手と決勝戦における相手とのうち、値が小さいもの、すなわち、確率が高いものとなる。例えば、図１７に示すようにパス選択部１３

０による勝ち抜き戦の結果が得られた場合、すなわち、比較結果情報C_1，C_2，C_3が、それぞれ、Ｐ≦Ｑ，Ｒ≦Ｓ，Ｐ≦Ｒを示すものであった場合には、加算比較選択回路１２０は、絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜，｜Ｐ－Ｒ｜のうちの値が小さい方を、補正を行うために選択すべき絶対値データとして選択すればよい。

【０２０４】

このように、２つの絶対値データを実直に比較して選択するものとすると、加算比較選択回路１２０は、図１８に示す絶対値選択手段である絶対値データ選択部１５０を有する実装となる。この絶対値データ選択部１５０は、２つの絶対値データを算出する２つの絶対値算出回路１５１，１５２と、２つの絶対値データの大小を比較する比較回路１５３と、この比較回路１５３による比較結果を示す比較結果情報に基づいて、２つの絶対値データのいずれか一方を選択するセレクタ１５４とを有するものとなる。

【０２０５】

しかしながら、この絶対値データ選択部１５０は、絶対値算出回路１５１，１５２による遅延量の他に、比較回路１５３による遅延量と、セレクタ１５４による遅延量とを有することから、加算比較選択回路１２０には、絶対値データ選択部１５０を有する場合には、１つの加算器分の遅延量と、１つのセレクタ分の遅延量とがさらに加わることになる。

【０２０６】

そこで、例えば、絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜，｜Ｐ－Ｒ｜の大小関係は、データＱ，Ｒの値の大小から求めることができることと、データＱ，Ｒの値の大小関係は、パス選択部１３０により既に求められていることといったように、既に求められている２つのデータの大小関係に基づいて、絶対値データの大小関係を判別できることに着目する。

【０２０７】

この点に着目した場合、加算比較選択回路１２０は、図１９に示す絶対値データ選択部１６０を有する実装とすることができる。

【０２０８】

絶対値データ選択部１６０は、同図に示すように、２つのデータの差分値の絶

対値を算出する６つの絶対値算出回路１６１，１６２，１６３，１６４，１６５，１６６と、入力されるデータのうちのいずれか１つを選択する４つのセレクタ１６７，１６８，１６９，１７０とを有する。

【０２０９】

絶対値算出回路１６１は、データＰとデータＱとの差分値（Ｐ－Ｑ）を求めるとともに、データＱとデータＰとの差分値（Ｑ－Ｐ）を求め、これらの差分値（Ｐ－Ｑ）と差分値（Ｑ－Ｐ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜としてセレクタ１６８に供給する。

【０２１０】

絶対値算出回路１６２は、データＲとデータＳとの差分値（Ｒ－Ｓ）を求めるとともに、データＳとデータＲとの差分値（Ｓ－Ｒ）を求め、これらの差分値（Ｒ－Ｓ）と差分値（Ｓ－Ｒ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対値データ｜Ｒ－Ｓ｜としてセレクタ１６８に供給する。

【０２１１】

絶対値算出回路１６３は、データＰとデータＲとの差分値（Ｐ－Ｒ）を求めるとともに、データＲとデータＰとの差分値（Ｒ－Ｐ）を求め、これらの差分値（Ｐ－Ｒ）と差分値（Ｒ－Ｐ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対値データ｜Ｐ－Ｒ｜としてセレクタ１６９に供給する。

【０２１２】

絶対値算出回路１６４は、データＱとデータＲとの差分値（Ｑ－Ｒ）を求めるとともに、データＲとデータＱとの差分値（Ｒ－Ｑ）を求め、これらの差分値（Ｑ－Ｒ）と差分値（Ｒ－Ｑ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対値データ｜Ｑ－Ｒ｜としてセレクタ１６９に供給する。

【０２１３】

絶対値算出回路１６５は、データＰとデータＳとの差分値（Ｐ－Ｓ）を求めるとともに、データＳとデータＰとの差分値（Ｓ－Ｐ）を求め、これらの差分値（Ｐ－Ｓ）と差分値（Ｓ－Ｐ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対値データ｜Ｐ－Ｓ｜としてセレクタ１６９に供給する。

【０２１４】

絶対値算出回路１６６は、データＱとデータＳとの差分値（Ｑ－Ｓ）を求めるとともに、データＳとデータＱとの差分値（Ｓ－Ｑ）を求め、これらの差分値（Ｑ－Ｓ）と差分値（Ｓ－Ｑ）とのうち、正の値を有するものを選択し、選択した差分値を絶対値データ｜Ｑ－Ｓ｜としてセレクタ１６９に供給する。

【０２１５】

セレクタ１６７は、パス選択部１３０における比較回路１３３，１３４，１３５，１３６から供給された４つの比較結果情報のうちのいずれか１つを選択する。セレクタ１６７は、選択した比較結果情報をセレクタ１７０に供給する。なお、ここでは、このセレクタ１６７により選択された比較結果情報をC_4として識別するものとする。

【０２１６】

セレクタ１６８は、パス選択部１３０におけるセレクタ１４１から供給された比較結果情報C_3に基づいて、絶対値算出回路１６１，１６２から供給された絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜，｜Ｒ－Ｓ｜のうちのいずれか一方を選択する。セレクタ１６８は、選択した絶対値データをセレクタ１７０に供給する。

【０２１７】

セレクタ１６９は、パス選択部１３０における比較回路１３１，１３２のそれぞれから供給された比較結果情報C_1，C_2に基づいて、絶対値算出回路１６３，１６４，１６５，１６６のそれぞれから供給された絶対値データ｜Ｐ－Ｒ｜，｜Ｑ－Ｒ｜，｜Ｐ－Ｓ｜，｜Ｑ－Ｓ｜のうちのいずれか１つを選択する。セレクタ１６８は、選択した絶対値データをセレクタ１７０に供給する。

【０２１８】

セレクタ１７０は、セレクタ１６７から供給された比較結果情報C_4に基づいて、セレクタ１６８から供給された絶対値データと、セレクタ１６９から供給された絶対値データとのうち、いずれか一方を選択し、補正項の算出に用いる絶対値データとして出力する。

【０２１９】

このような絶対値データ選択部１６０は、パス選択部１３０における比較回路１３３，１３４，１３５，１３６により求められた比較結果情報に基づいて、絶

対値算出回路１６１，１６２，１６３，１６４，１６５，１６６により算出された絶対値データの大小関係を判別することができ、最尤パスに対応するデータと準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めて選択することができる。絶対値データ選択部１６０においては、例えば、図１７に示したようにパス選択部１３０による勝ち抜き戦の結果が得られた場合、すなわち、比較結果情報C_1，C_2，C_3が、それぞれ、Ｐ≦Ｑ，Ｒ≦Ｓ，Ｐ≦Ｒを示すものであった場合には、セレクタ１６７により選択される比較結果情報C_4は、比較回路１３４から出力された比較結果情報となり、セレクタ１６８により選択される絶対値データは、絶対値算出回路１６１から出力された絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜となり、セレクタ１６９により選択される絶対値データは、絶対値算出回路１６３から出力された絶対値データ｜Ｐ－Ｒ｜となる。したがって、絶対値データ選択部１６０は、セレクタ１６７により選択される比較結果情報C_4がＱ≦Ｒを示すものであった場合には、セレクタ１７０により絶対値データ｜Ｐ－Ｑ｜を選択して出力し、セレクタ１６７により選択される比較結果情報C_4がＱ＞Ｒを示すものであった場合には、セレクタ１７０により絶対値データ｜Ｐ－Ｒ｜を選択して出力する。

【０２２０】

このように絶対値データ選択部１６０は、上述したように、勝ち抜き戦の結果に応じて、セレクタ１６７により比較結果情報C_4を選択すればよい。ここでは、４つのデータＰ、データＱ、データＲ及びデータＳについての勝ち抜き戦であることから、絶対値データ選択部１６０は、図２０に示すように、８つの勝ち抜き戦の結果に応じて、セレクタ１６７により比較結果情報C_4を選択することになる。

【０２２１】

まず、同図（Ａ）に示すように、データＰが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＱ，Ｒのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３４から出力された比較結果情報、すなわち、データＱとデータＲとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ≦Ｑ，Ｒ≦Ｓ，Ｐ≦Ｒを示すも

のとなる。

【０２２２】

また、同図（Ｂ）に示すように、データＲが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＰ，Ｓのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３５から出力された比較結果情報、すなわち、データＰとデータＳとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ≦Ｑ，Ｒ≦Ｓ，Ｐ＞Ｒを示すものとなる。

【０２２３】

さらに、同図（Ｃ）に示すように、データＰが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＱ，Ｓのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３６から出力された比較結果情報、すなわち、データＱとデータＳとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ≦Ｑ，Ｒ＞Ｓ，Ｐ≦Ｓを示すものとなる。

【０２２４】

さらにまた、同図（Ｄ）に示すように、データＳが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＰ，Ｒのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３３から出力された比較結果情報、すなわち、データＰとデータＲとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ≦Ｑ，Ｒ＞Ｓ，Ｐ＞Ｓを示すものとなる。

【０２２５】

また、同図（Ｅ）に示すように、データＱが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＰ，Ｒのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、

比較回路１３３から出力された比較結果情報、すなわち、データＰとデータＲとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ＞Ｑ，Ｒ≦Ｓ，Ｑ≦Ｒを示すものとなる。

【０２２６】

さらに、同図（Ｆ）に示すように、データＲが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＱ，Ｓのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３６から出力された比較結果情報、すなわち、データＱとデータＳとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ＞Ｑ，Ｒ≦Ｓ，Ｑ＞Ｒを示すものとなる。

【０２２７】

さらにまた、同図（Ｇ）に示すように、データＱが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＰ，Ｓのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３５から出力された比較結果情報、すなわち、データＰとデータＳとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ＞Ｑ，Ｒ＞Ｓ，Ｑ≦Ｓを示すものとなる。

【０２２８】

また、同図（Ｈ）に示すように、データＳが最尤パスに対応するデータとして選択され、○印が付与されたデータＱ，Ｒのいずれか一方が準最尤パスに対応するデータとして選択された場合、セレクタ１６７は、比較結果情報C_4として、比較回路１３４から出力された比較結果情報、すなわち、データＱとデータＲとの大小関係を示す比較結果情報を選択する。このとき、パス選択部１３０における比較結果情報C_1，C_2，C_3は、それぞれ、Ｐ＞Ｑ，Ｒ＞Ｓ，Ｑ＞Ｓを示すものとなる。

【０２２９】

さて、このような選択動作を行うセレクタ１６７として、通常のセレクタを用いて実装した場合には、適切な比較結果情報を選択するための新たな勝ち抜き戦を行う必要が生じることから、絶対値データ選択部１６０は、遅延量の増加を招くことになる。

【０２３０】

そこで、絶対値データ選択部１６０は、セレクタ１６７の代わりに、以下に示す論理演算から導出される構成によって、セレクタ１６７による選択動作を実現することができる。

【０２３１】

まず、比較結果情報C_4に基づいてデータを選択するセレクタ１７０は、比較結果情報C_4がＰ≦Ｒ，Ｑ≦Ｒ，Ｐ≦Ｓ又はＱ≦Ｓを示すものである場合には、セレクタ１６８から供給されるデータ、すなわち、勝ち抜き戦における１回戦のデータを選択し、比較結果情報C_4がＰ＞Ｒ，Ｑ＞Ｒ，Ｐ＞Ｓ又はＱ＞Ｓを示すものである場合には、セレクタ１６９から供給されるデータ、すなわち、勝ち抜き戦における決勝戦の可能性のあるデータを選択する。そこで、Ｐ≦Ｒ，Ｑ≦Ｒ，Ｐ≦Ｓ又はＱ≦Ｓを示すものである場合における比較結果情報C_4を“１”と表し、セレクタ１６８から供給されるデータ、すなわち、勝ち抜き戦における１回戦のデータを“Δ_{1st}”と表し、セレクタ１６９から供給されるデータ、すなわち、勝ち抜き戦における決勝戦の可能性のあるデータを“Δ_{final}”と表すものとすると、次式（３４）に示す同値関係が成立する。なお、次式（３４）における“∧”は、論理積を示し、“∨”は、論理和を示し、“￢”は、否定を示す論理記号である。

【０２３２】

【数３４】

$$
\begin{aligned}
&C_4 = 1 \Leftrightarrow \Delta_{1st} \le \Delta_{final} \\
&\Leftrightarrow \left\{\min\left(P, Q\right) \le \min\left(R, S\right) \wedge \max\left(P, Q\right) \le \min\left(R, S\right)\right\} \\
&\vee \left\{\min\left(R, S\right) \le \min\left(P, Q\right) \wedge \max\left(R, S\right) \le \min\left(P, Q\right)\right\} \\
&\Leftrightarrow \left\{\max\left(P, Q\right) \le \min\left(R, S\right)\right\} \vee \left\{\max\left(R, S\right) \le \min\left(P, Q\right)\right\} \\
&\Leftrightarrow \left(P \le R \wedge Q \le R \wedge P \le S \wedge Q \le S\right) \\
&\qquad \vee \left(R \le P \wedge R \le Q \wedge S \le P \wedge S \le Q\right) \\
&\Leftrightarrow \left(P \le R \wedge Q \le R \wedge P \le S \wedge Q \le S\right) \\
&\qquad \vee \left(\neg\left(P \le R\right) \wedge \neg\left(Q \le R\right) \wedge \neg\left(P \le S\right) \wedge \neg\left(Q \le S\right)\right)
\end{aligned}
\tag{34}
$$

【０２３３】

上式（３４）において、２行目は、データＰ，Ｑのうちのいずれか一方が最尤パスとなる場合を示しており、３行目は、データＲ，Ｓのうちのいずれか一方が最尤パスとなる場合を示している。また、上式（３４）において、ｍｉｎ（・，・）は、小さい値を有するものを選択する関数であり、ｍａｘ（・，・）は、大きい値を有するものを選択する関数である。すなわち、上式（３４）において、４行目におけるｍａｘ（Ｐ，Ｑ）は、データＰとデータＱとの間で行われる１回戦の敗者、すなわち、値が大きいものを示しており、ｍｉｎ（Ｐ，Ｑ）は、データＰとデータＱとの間で行われる１回戦の勝者、すなわち、値が小さいものを示しており、ｍａｘ（Ｒ，Ｓ）は、データＲとデータＳとの間で行われる１回戦の敗者、すなわち、値が大きいものを示しており、ｍｉｎ（Ｒ，Ｓ）は、データＲとデータＳとの間で行われる１回戦の勝者、すなわち、値が小さいものを示している。

【０２３４】

このような同値関係が成立することによって、絶対値データ選択部１６０は、

セレクタ１６７による選択動作を実現する選択部として、図２１に示すように構成することができる。すなわち、選択部１８０は、ＡＮＤゲート１８１と、ＮＡＮＤゲート１８２と、ＯＲゲート１８３とを有するものとして実装することができる。

【０２３５】

ＡＮＤゲート１８１は、比較回路１３３，１３４，１３５，１３６から供給された４つの比較結果情報の論理積をとる。ＡＮＤゲート１８１は、求めた論理積をＯＲゲート１８３に供給する。

【０２３６】

ＮＡＮＤゲート１８２は、比較回路１３３，１３４，１３５，１３６から供給された４つの比較結果情報の論理積の否定をとる。ＮＡＮＤゲート１８２は、求めた論理積の否定をＯＲゲート１８３に供給する。

【０２３７】

ＯＲゲート１８３は、ＡＮＤゲート１８１から供給された論理積と、ＮＡＮＤゲート１８２から供給された論理積の否定との論理和をとる。ＯＲゲート１８３は、求めた論理和を比較結果情報C_4としてセレクタ１７０に供給する。

【０２３８】

このような選択部１８０は、比較回路１３３，１３４，１３５，１３６から供給された４つの比較結果情報のうち、いずれか１つの比較結果情報を選択し、この比較結果情報を比較結果情報C_4としてセレクタ１７０に供給することができる。

【０２３９】

以上のような絶対値データ選択部１６０による遅延量を見積もると、絶対値算出回路１６１，１６２，１６３，１６４，１６５，１６６による遅延量は、上述した絶対値算出回路９０による遅延量と等しいことから、１つの加算器と１つのセレクタ分の遅延量を有することから、全体で１つの加算器と３つの加算器分の遅延量となる。すなわち、絶対値データ選択部１６０は、絶対値算出回路１６１，１６２，１６３，１６４，１６５，１６６による遅延量の他に、２つのセレクタ分の遅延量で済み、上述した絶対値データ選択部１５０と比較して、遅延量を

小さくすることができる。

【０２４０】

さて、上述したパス選択部１３０及び絶対値データ選択部１６０を組み合わせると、加算比較選択回路１２０は、図２２に示すように実装することができる。

【０２４１】

すなわち、加算比較選択回路１２０は、同図に示すように、上述した加算比較選択回路６０における加算器６１，６２，６９，７０のそれぞれと等価である加算器１２１，１２２，１２３，１２４と、パス選択部１３０と、絶対値データ選択部１６０と、線形近似手段である上述した線形近似回路１００と、上述した加算比較選択回路６０における差分器８０に対応し、パス選択部１３０から供給されたデータと線形近似回路１００から供給されたデータとの差分値を求める差分器１２５とを有する。

【０２４２】

この加算比較選択回路１２０において、絶対値データ選択部１６０におけるセレクタ１６９は、実際には、３つのセレクタ１９１，１９２，１９３を有するものとなる。

【０２４３】

すなわち、セレクタ１９１は、比較回路１３１から供給された比較結果情報C_1に基づいて、絶対値算出回路１６３から供給される絶対値データ｜Ｐ－Ｒ｜と、絶対値算出回路１６４から供給される絶対値データ｜Ｑ－Ｒ｜とのうち、いずれか一方の絶対値データを選択する。具体的には、セレクタ１９１は、比較回路１３１による比較の結果、Ｐ≦Ｑの場合には、絶対値算出回路１６３から供給される絶対値データ｜Ｐ－Ｒ｜を選択し、Ｐ＞Ｑの場合には、絶対値算出回路１６４から供給される絶対値データ｜Ｑ－Ｒ｜を選択する。セレクタ１９１は、選択した絶対値データをセレクタ１９３に供給する。

【０２４４】

また、セレクタ１９２は、比較回路１３１から供給された比較結果情報C_1に基づいて、絶対値算出回路１６５から供給される絶対値データ｜Ｐ－Ｓ｜と、絶対値算出回路１６６から供給される絶対値データ｜Ｑ－Ｓ｜とのうち、いずれか

一方の絶対値データを選択する。具体的には、セレクタ１９２は、比較回路１３１による比較の結果、Ｐ≦Ｑの場合には、絶対値算出回路１６５から供給される絶対値データ｜Ｐ－Ｓ｜を選択し、Ｐ＞Ｑの場合には、絶対値算出回路１６６から供給される絶対値データ｜Ｑ－Ｓ｜を選択する。セレクタ１９２は、選択した絶対値データをセレクタ１９３に供給する。

【０２４５】

さらに、セレクタ１９３は、比較回路１３２から供給された比較結果情報C_2に基づいて、セレクタ１９１から供給される絶対値データと、セレクタ１９２から供給される絶対値データとのうち、いずれか一方の絶対値データを選択する。具体的には、セレクタ１９３は、比較回路１３２による比較の結果、Ｒ≦Ｓの場合には、セレクタ１９１から供給される絶対値データを選択し、Ｒ＞Ｓの場合には、セレクタ１９２から供給される絶対値データを選択する。セレクタ１９３は、選択した絶対値データをセレクタ１７０に供給する。

【０２４６】

このような加算比較選択回路１２０における遅延量は、比較回路１３１，１３２，１３３，１３４，１３５，１３６による処理と、絶対値算出回路１６１，１６２，１６３，１６４，１６５，１６６による処理とが並列的に行われるとともに、セレクタ１３７，１３９，１４０，１９１，１９２による処理が並列的に行われるとともに、セレクタ１３８，１４１，１９３による処理が並列的に行われることから、図１２に示した線形近似回路１００を用いた場合には、４つの加算器と６つのセレクタ分となり、図１３に示した線形近似回路１００を用いた場合には、３つの加算器と６つのセレクタ分となる。したがって、加算比較選択回路１２０は、上述した加算比較選択回路６０と比較して、遅延量を小さくすることができる。

【０２４７】

以上説明したように、符号化装置１と復号装置３とを用いて構成されるデータ送受信システムは、復号装置３において、最尤パスの選択と補正項の算出に用いる絶対値データの算出とを、入力された複数のデータによる勝ち抜き戦の原理を利用して行うことによって、迅速な処理が可能となり、高速化を図ることができ

る。特に、復号装置３は、線形近似によるｌｏｇ－ｓｕｍ補正を行う際に、最尤パスと準最尤パスとの間だけで補正を行うことによって、性能を劣化させることなく、動作速度を向上させることができる。

【０２４８】

すなわち、これらの符号化装置１と復号装置３とを用いて構成されるデータ送受信システムは、高性能且つ高速に畳み込み符号の復号を実現するものであり、ユーザに高い信頼性及び利便性を提供することができるものである。

【０２４９】

なお、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、例えば、符号化装置としては、畳み込み演算を行うものでなくてもよく、入力データが２ビット以上、すなわち、各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達するような符号化を行うものであればよい。

【０２５０】

また、上述した実施の形態では、各ステートに４つのパスが到達し、これらの４つのパスのうち、最尤パスと準最尤パスとを用いて補正を行うものとして説明したが、本発明は、各ステートに到達したパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを用いて補正を行うものであれば適用可能である。

【０２５１】

さらに、上述した実施の形態では、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づくＭＡＰ復号を行い、いわゆる線形近似によるｌｏｇ－ｓｕｍ補正を行うことで対数軟出力を求めるものとして説明したが、本発明は、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づくＭＡＰ復号を行うものにも適用可能であり、高速化を図ることができる。この場合、加算比較選択回路は、上述した絶対値データ選択部や線形近似回路を有する必要はなく、最尤パスを求める構成とすればよいことは勿論である。

【０２５２】

さらにまた、本発明は、いわゆる並列連接畳み込み符号、縦列連接畳み込み符号、ターボ符号化変調方式による符号又は縦列連接符号化変調方式による符号といったように、複数の要素符号を連接して構成される符号の復号を行う場合にも

容易に適用できるものである。

【０２５３】

また、上述した実施の形態では、符号化装置及び復号装置をデータ送受信システムにおける送信装置及び受信装置に適用して説明したが、本発明は、例えばフロッピーディスク、ＣＤ－ＲＯＭ又はＭＯ（Magneto Optical）といった磁気、光又は光磁気ディスク等の記録媒体に対する記録及び／又は再生を行う記録及び／又は再生装置に適用することもできる。この場合、符号化装置により符号化されたデータは、無記憶通信路に等価とされる記録媒体に記録され、復号装置により復号されて再生される。

【０２５４】

以上のように、本発明は、その趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

【０２５５】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明にかかる復号装置は、各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達する符号化がなされて受信した軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を対数表記した対数尤度を求め、この対数尤度を用いて復号を行う復号装置であって、各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスを選択するパス選択手段を備える。

【０２５６】

したがって、本発明にかかる復号装置は、パス選択手段によって、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、最尤パスを選択することによって、性能を劣化させることなく、高速化を図ることができる。

【０２５７】

また、本発明にかかる復号方法は、各ステートに少なくとも３つ以上のパスが到達する符号化がなされて受信した軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を対数表記した対数尤度を求め、この対数尤度を用いて復号を行う

を行う復号方法であって、各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から、最も尤度の高いパスである最尤パスを選択するパス選択工程を備える。

【０２５８】

したがって、本発明にかかる復号方法は、パス選択工程にて、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、最尤パスを選択することによって、性能を劣化させることなく、高速化を図ることを可能とする。

【図面の簡単な説明】

【図１】

本発明の実施の形態として示すデータ送受信システムを適用する通信モデルの構成を説明するブロック図である。

【図２】

同データ送受信システムにおける符号化装置の構成を説明するブロック図である。

【図３】

符号化装置におけるトレリスを説明する図である。

【図４】

同データ送受信システムにおける復号装置の構成を説明するブロック図である。

【図５】

復号装置が備えるＩα算出・記憶回路の構成を説明するブロック図である。

【図６】

Ｉα算出・記憶回路が有するＩα算出回路の構成を説明するブロック図である。

【図７】

復号装置が備えるＩβ算出・記憶回路の構成を説明するブロック図である。

【図８】

Ｉβ算出・記憶回路が有するＩβ算出回路の構成を説明するブロック図である

。

【図９】

Ｉα算出回路又はＩβ算出回路が有する加算比較選択回路の構成を説明するブロック図であって、Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムに基づいて実直に実装した加算比較選択回路の構成を説明するブロック図である。

【図１０】

加算比較選択回路が有する絶対値算出回路の構成を説明するブロック図である。

【図１１】

加算比較選択回路が有する線形近似回路によるｌｏｇ－ｓｕｍ補正を説明する図であって、補正項を示す関数と線形近似した関数とを示すグラフである。

【図１２】

線形近似回路の構成を説明するブロック図であって、関数Ｆ＝－ａ｜ＰＰ－ＱＱ｜＋ｂの係数－ａを２のべき乗を用いて表現して補正項の値を算出する線形近似回路の構成を説明するブロック図である。

【図１３】

図１２に示す線形近似回路とは異なる他の線形近似回路の構成を説明するブロック図であって、関数Ｆ＝－ａ｜ＰＰ－ＱＱ｜＋ｂの係数－ａと係数ｂとを２のべき乗を用いて表現して補正項の値を算出する線形近似回路の構成を説明するブロック図である。

【図１４】

図１３に示す線形近似回路による演算を説明する図である。

【図１５】

加算比較選択回路が有するパス選択部の構成を説明するブロック図である。

【図１６】

パス選択部における動作を説明するための図であって、入力された複数のデータの大小を比較して選択する動作を説明する図である。

【図１７】

パス選択部における動作を説明するための図であって、パス選択部による選択

結果の一例を示す図である。

【図１８】

加算比較選択回路が有する絶対値データ選択部の構成を説明するブロック図であって、２つの絶対値データを実直に比較して選択する絶対値データ選択部の構成を説明するブロック図である。

【図１９】

図１８に示す絶対値データ選択部とは異なる絶対値データ選択部の構成を説明するブロック図である。

【図２０】

絶対値データ選択部における動作を説明するための図であって、パス選択部による８つの選択結果を示す図である。

【図２１】

図１９に示す絶対値データ選択部が有する選択部の構成を説明するブロック図である。

【図２２】

図９に示す加算比較選択回路とは異なる加算比較選択回路の構成を説明するブロック図であって、図１５に示すパス選択部と図１９に示す絶対値データ選択部を組み合わせて構成した加算比較選択回路の構成を説明するブロック図である。

【図２３】

通信モデルの構成を説明するブロック図である。

【図２４】

従来の符号化装置におけるトレリスを説明する図であって、確率α_t，β_t及びγ_tの内容を説明するための図である。

【図２５】

従来の復号装置において、ＢＣＪＲアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う際の一連の工程を説明するフローチャートである。

【図２６】

従来の復号装置において、Ｍａｘ－Ｌｏｇ－ＢＣＪＲアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う際の一連の工程を説明するフローチャートである。

【図２７】

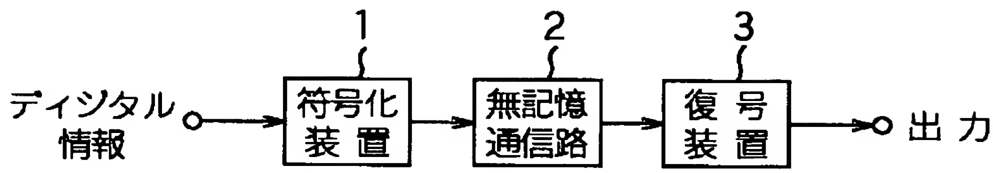
ｌｏｇ－ｓｕｍ補正を説明する図であって、（Ａ）は、補正項を示す関数と線形近似法により近似した関数とを示すグラフであり、（Ｂ）は、補正項を示す関数と閾値近似法により近似した関数とを示すグラフである。

【符号の説明】

１　符号化装置、　３　復号装置、　３２　Ｉγ算出・記憶回路、　３３　Ｉα算出・記憶回路、　３４　Ｉβ算出・記憶回路、　３５　軟出力算出回路、　４３　Ｉα算出回路、　４７$_0$，４７$_1$，４７$_2$，４７$_3$，５５$_0$，５５$_1$，５５$_2$，５５$_3$，６０，１２０　加算比較選択回路、　５１$_1$，５１$_2$　Ｉβ算出回路、　６５，７３，７９　補正項算出回路、　６７，７５，８１，９０　絶対値算出回路、　６８，７６，８２，１００　線形近似回路、　１３０　パス選択部、　１５０，１６０　絶対値データ選択部

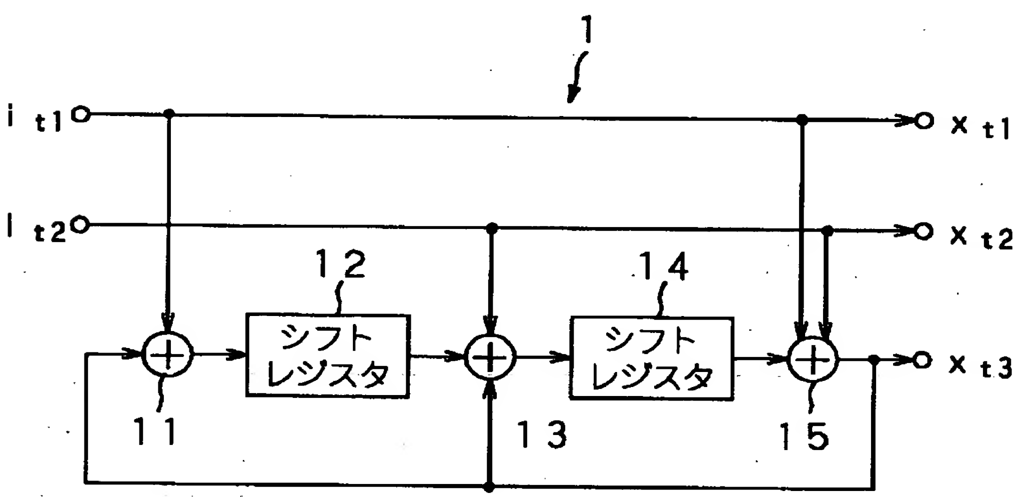
【書類名】　　図面

【図１】



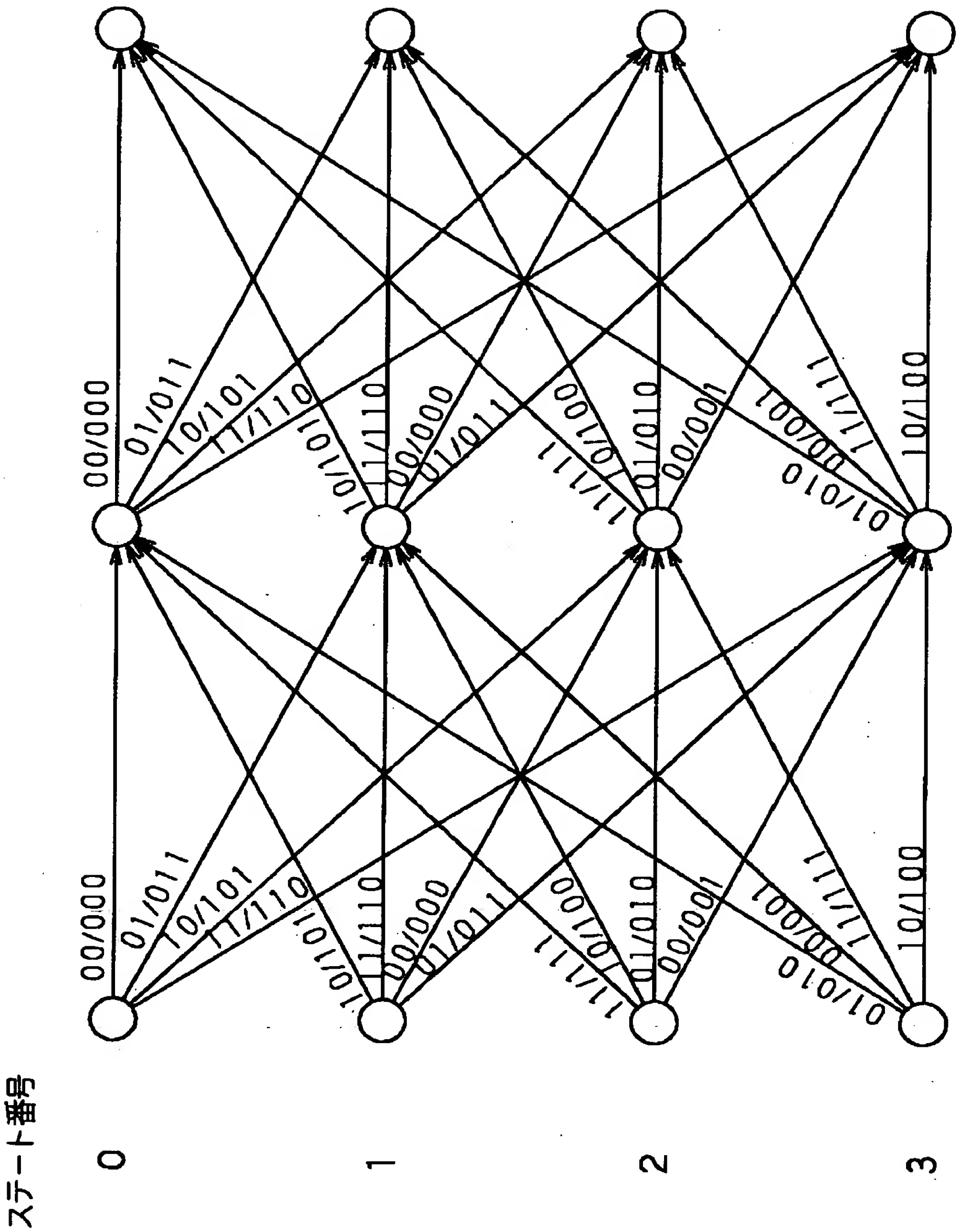
通信モデルの構成ブロック図

【図２】



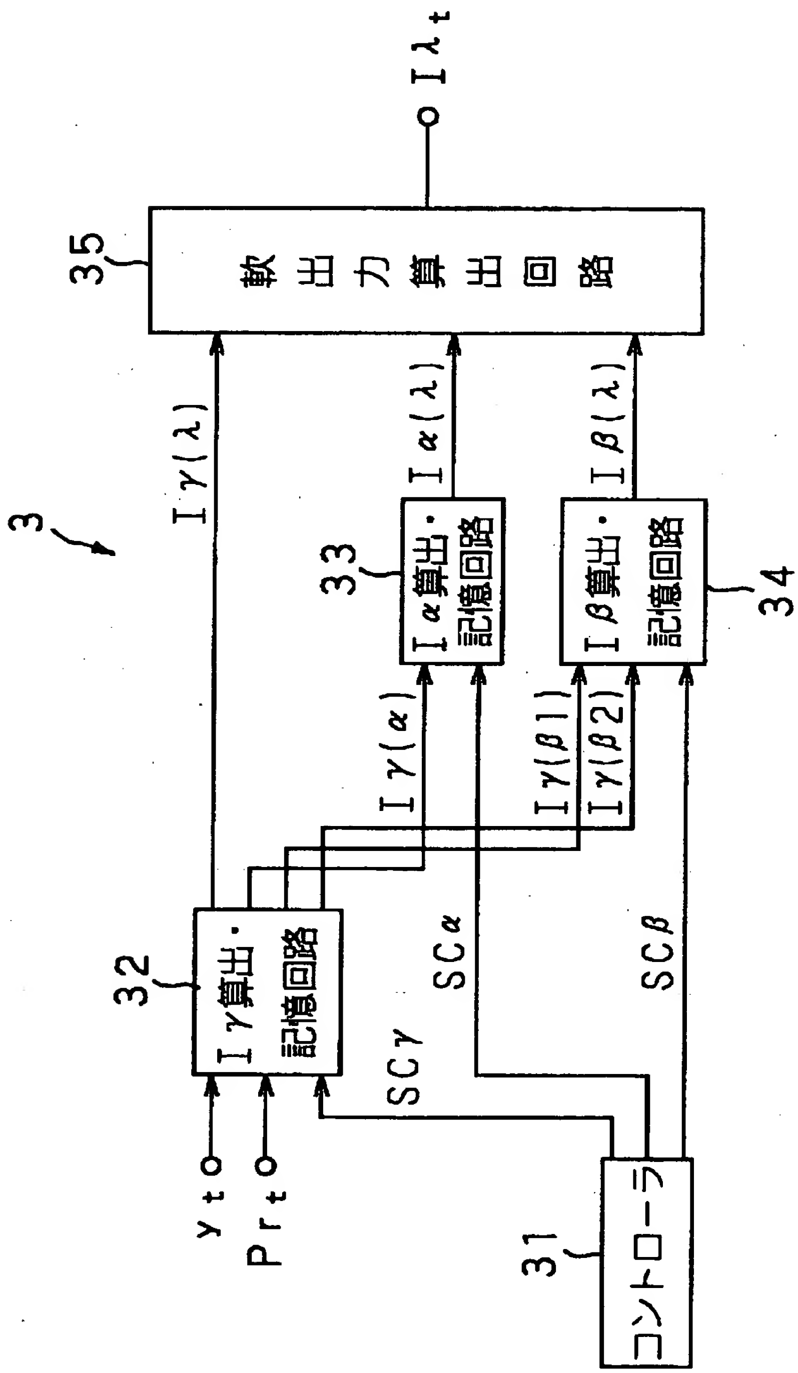
符号化装置の構成ブロック図

【図３】


ステート番号
0
1
2
3
00/000
01/011
10/101
11/110
10/101
11/110
00/000
01/011
11/111
10/100
01/010
00/001
00/001
11/111
01/010
10/100

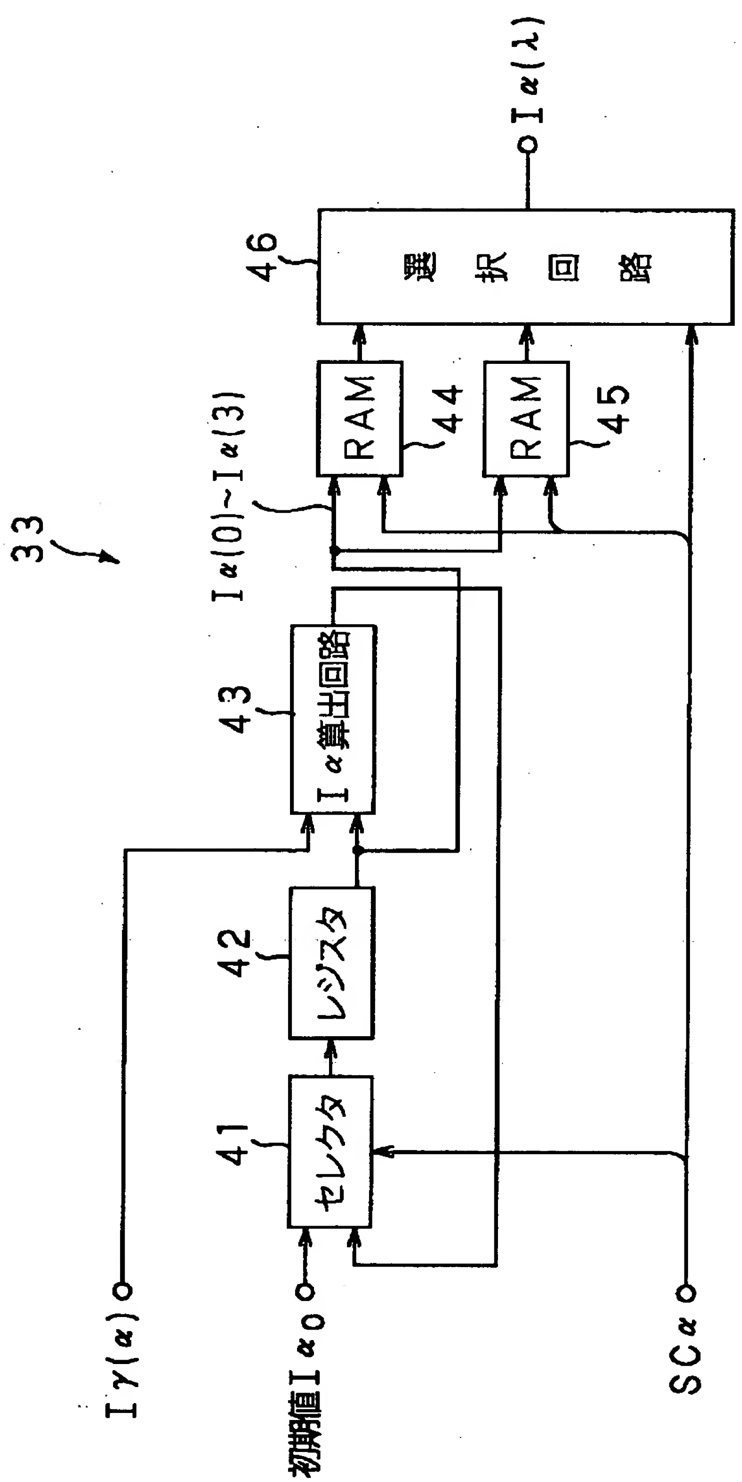
トレリスの説明図

【図４】



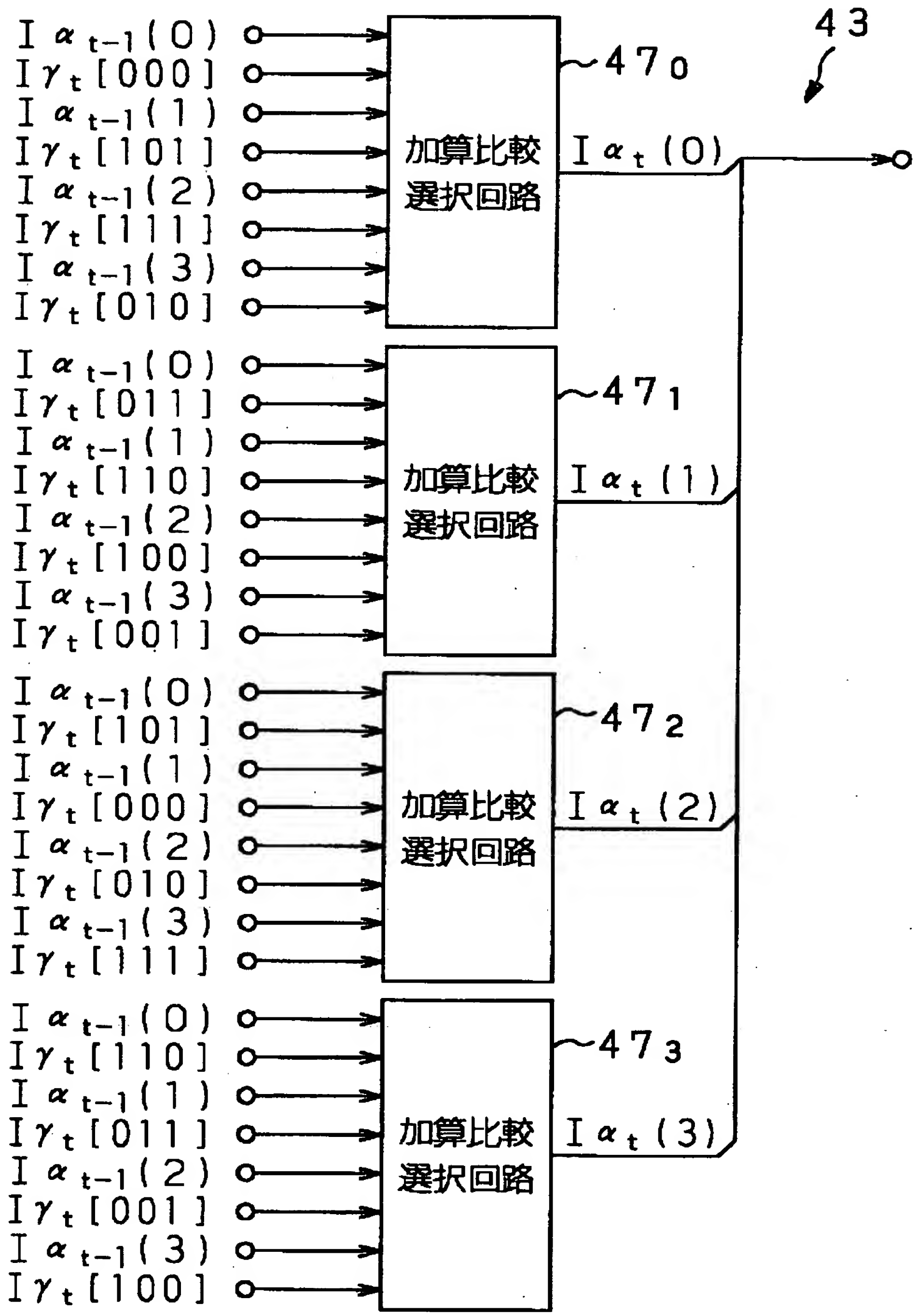
復号装置の構成ブロック図

【図５】



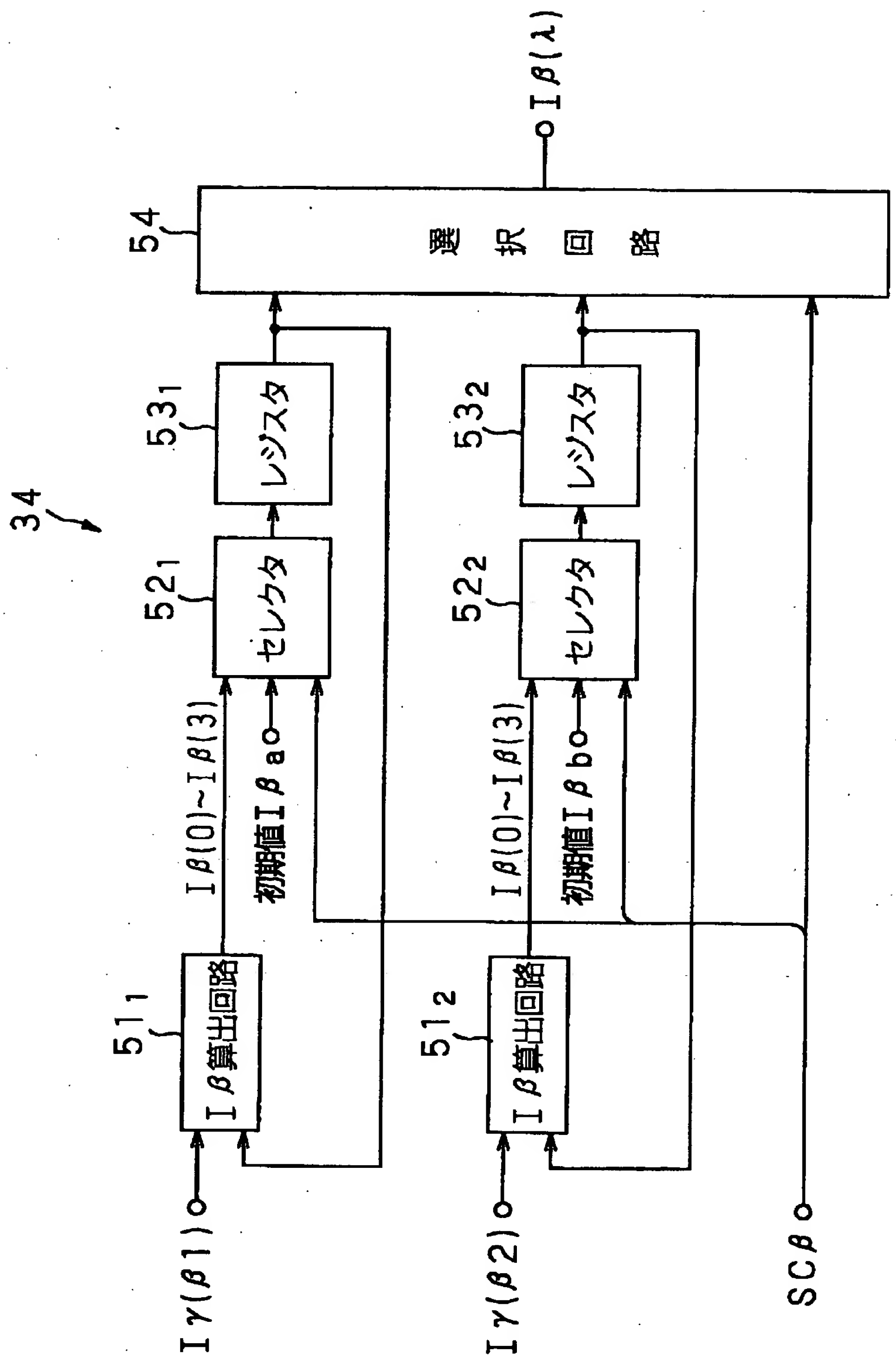
Iα算出・記憶回路の構成ブロック図

【図６】



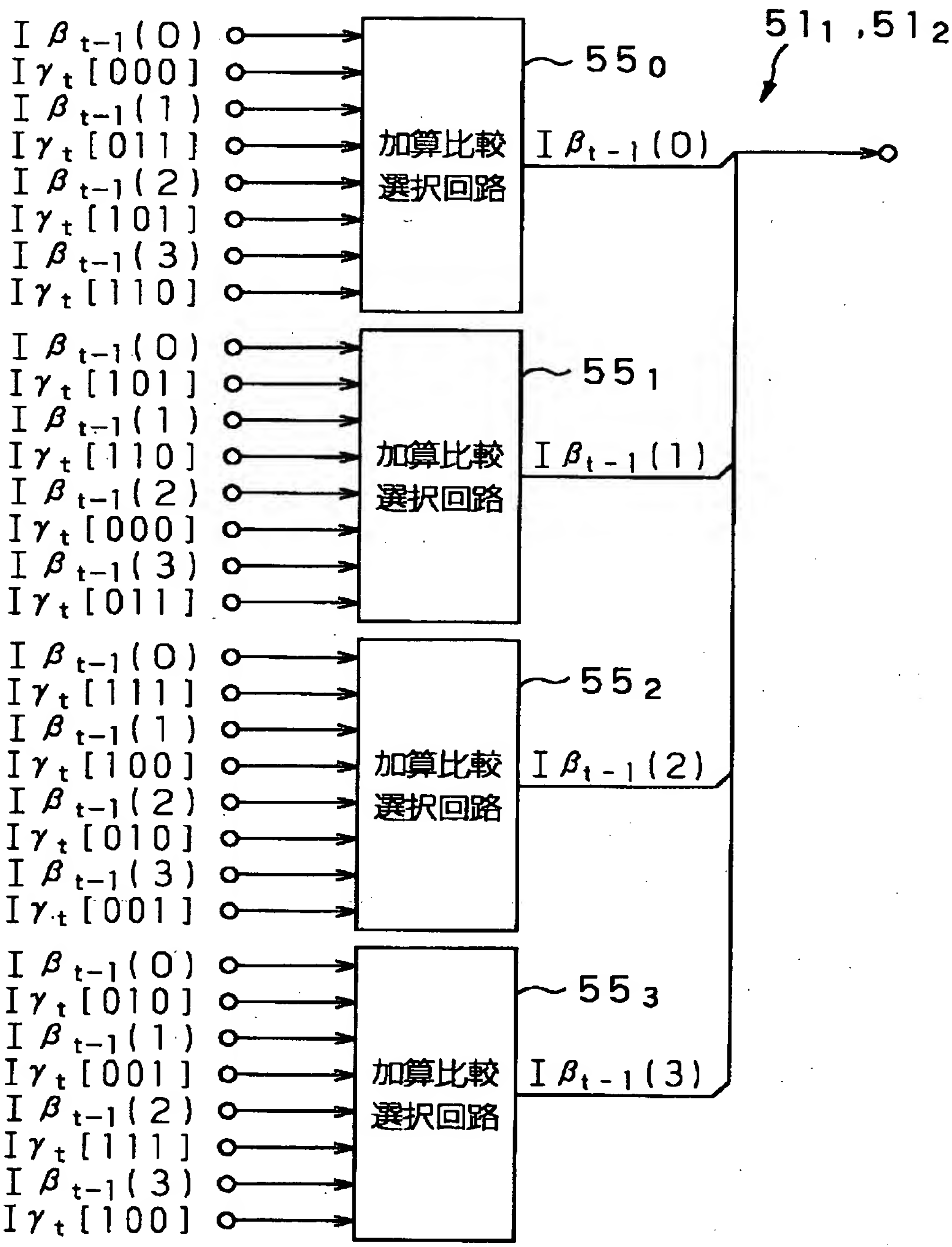
Iα算出回路の構成ブロック図

【図７】



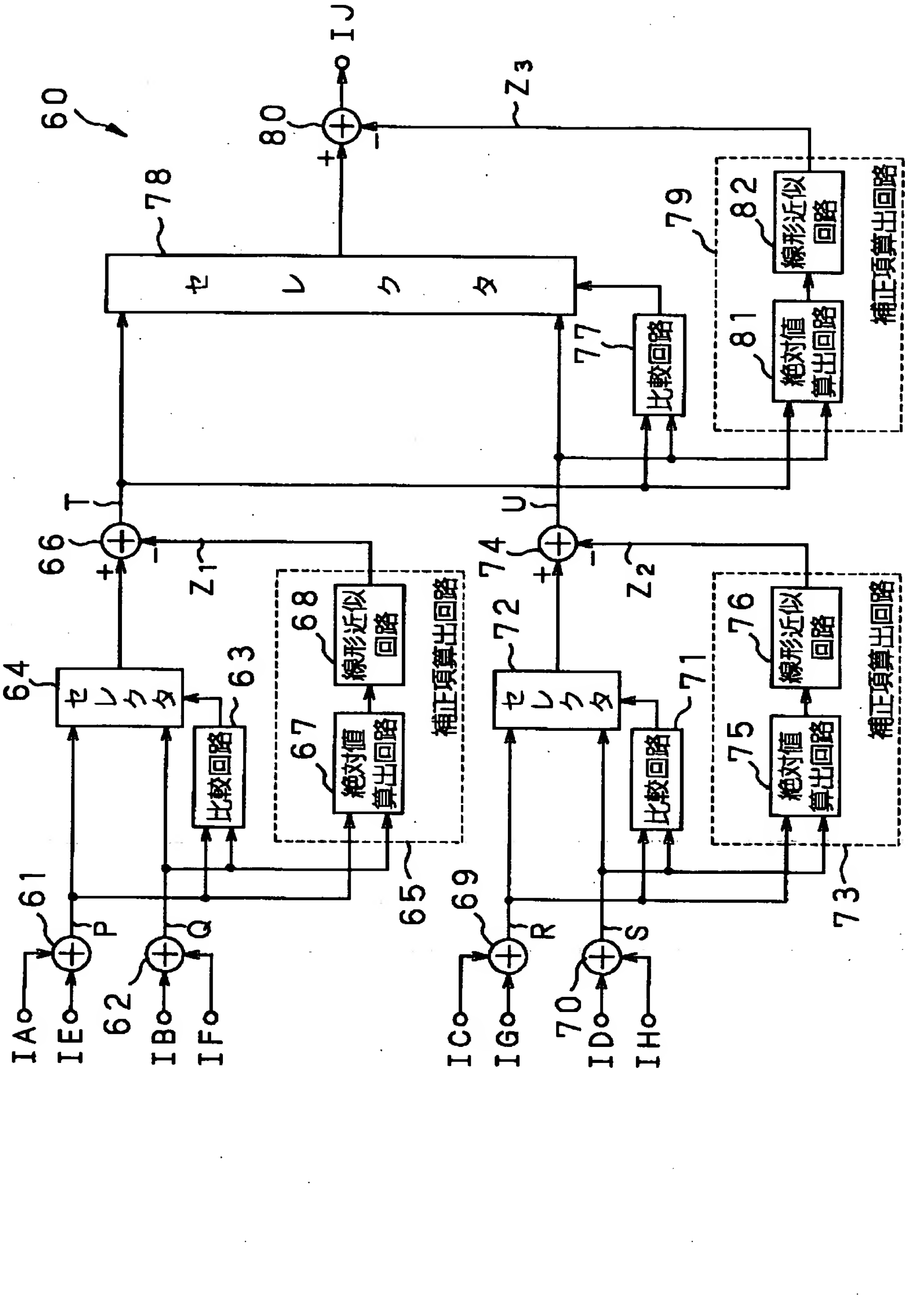
Iβ算出・記憶回路の構成ブロック図

【図８】



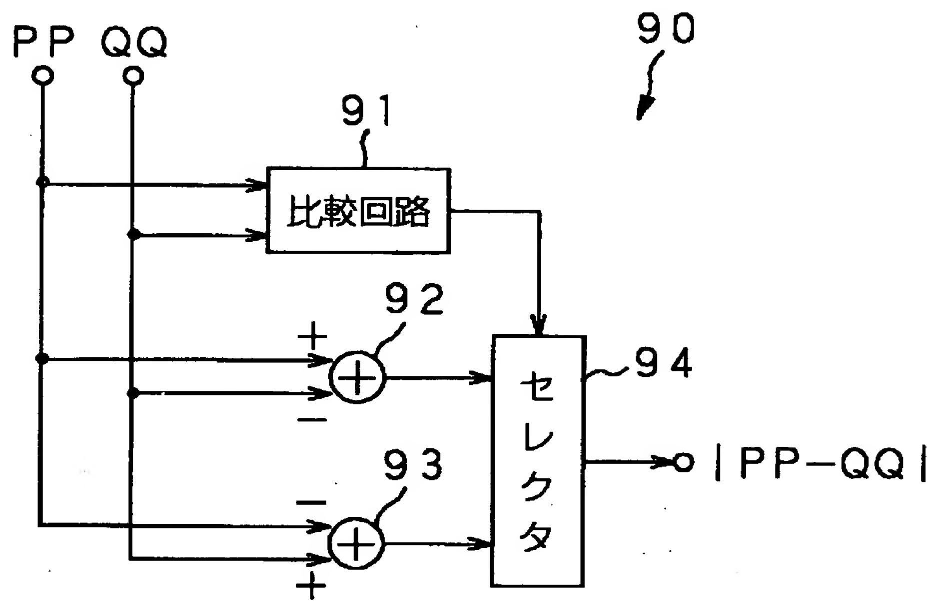
Iβ算出回路の構成ブロック図

【図９】



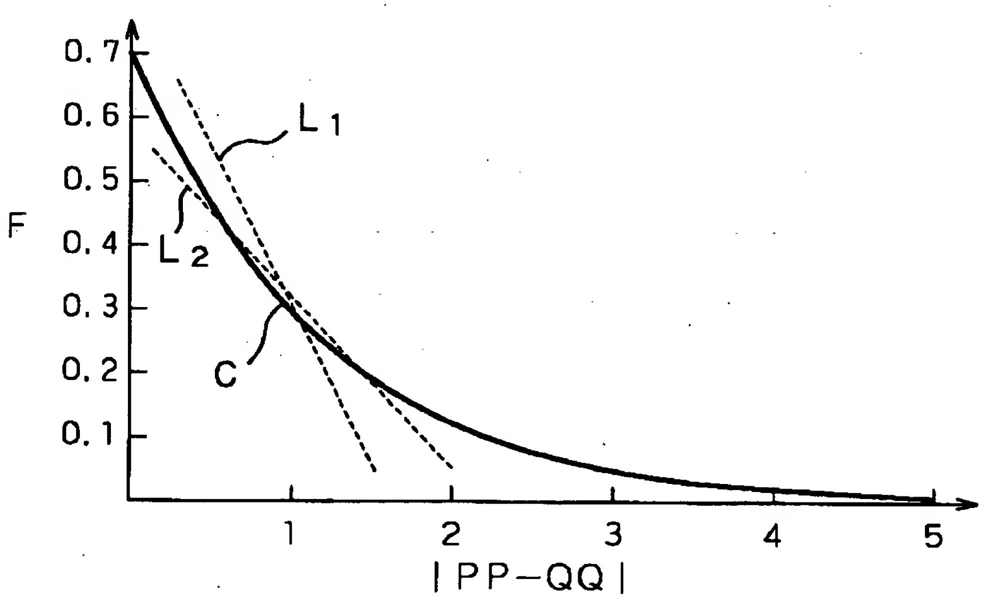
加算比較選択回路の構成ブロック図

【図１０】

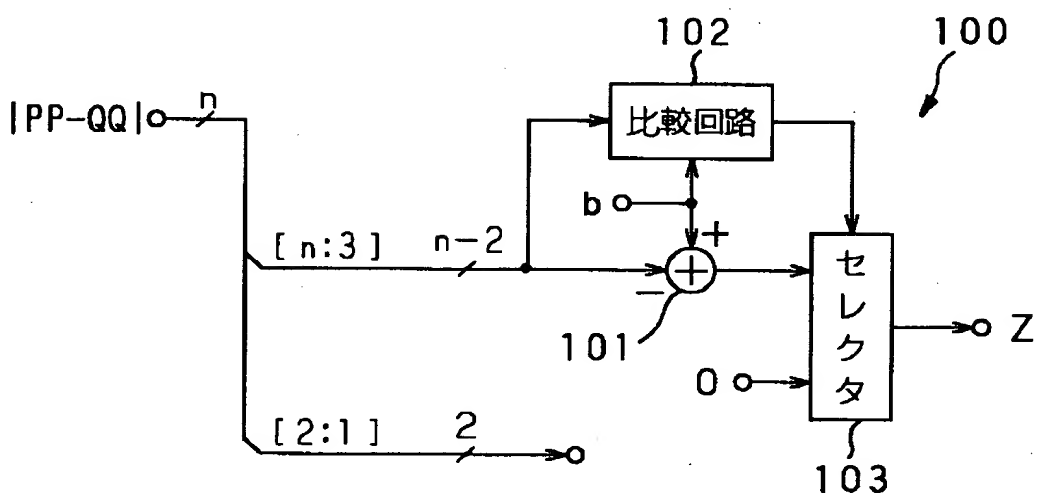


絶対値算出回路の構成ブロック図

【図１１】

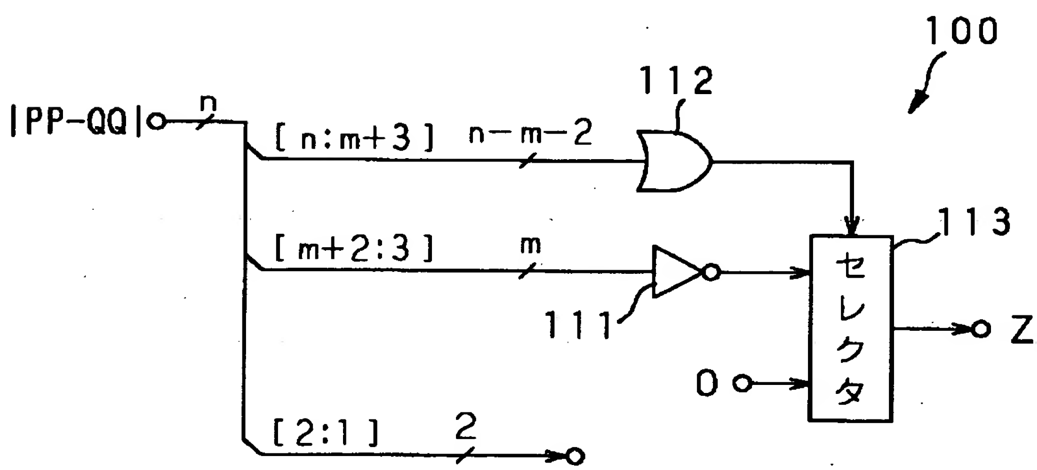


【図１２】



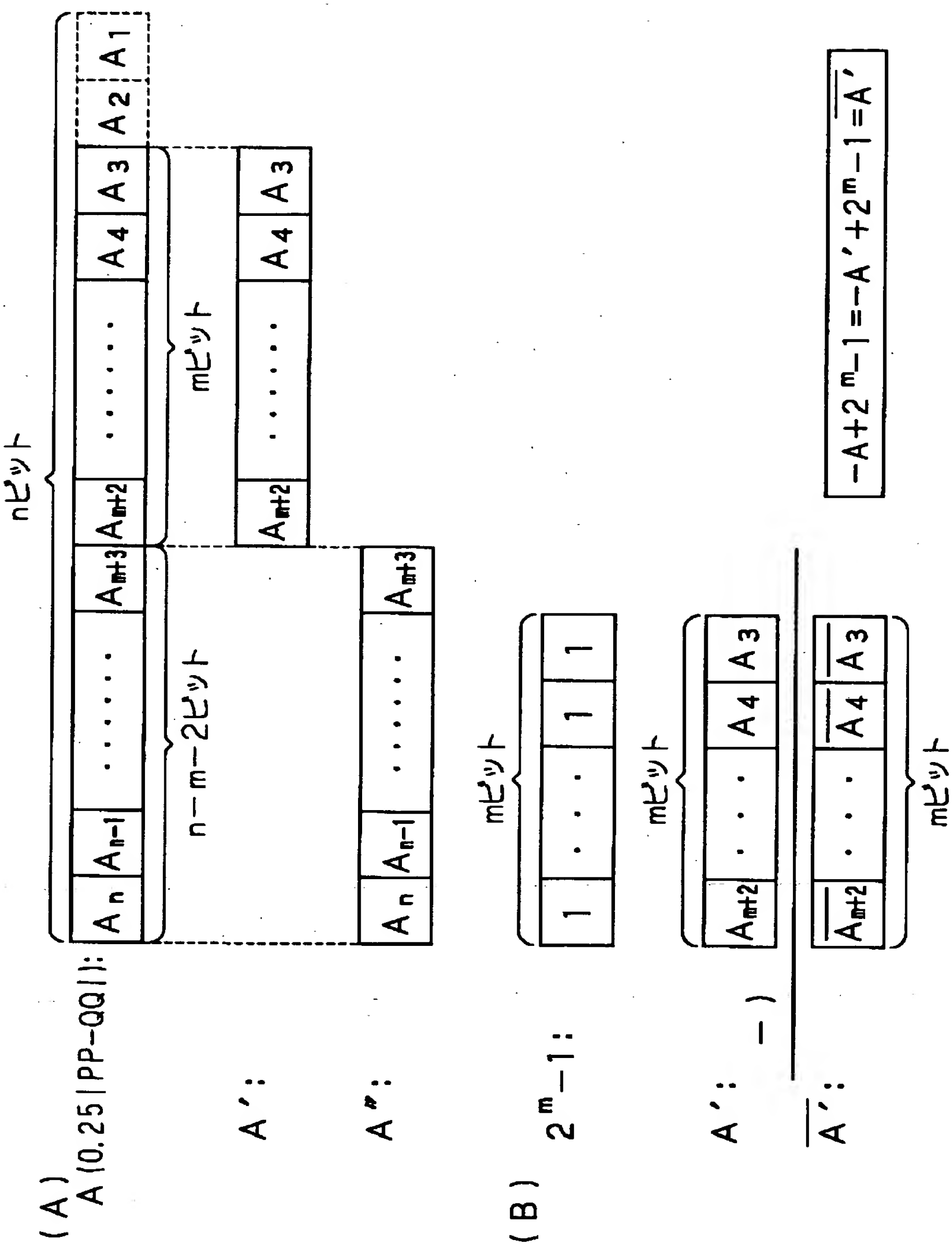
線形近似回路の構成ブロック図

【図１３】



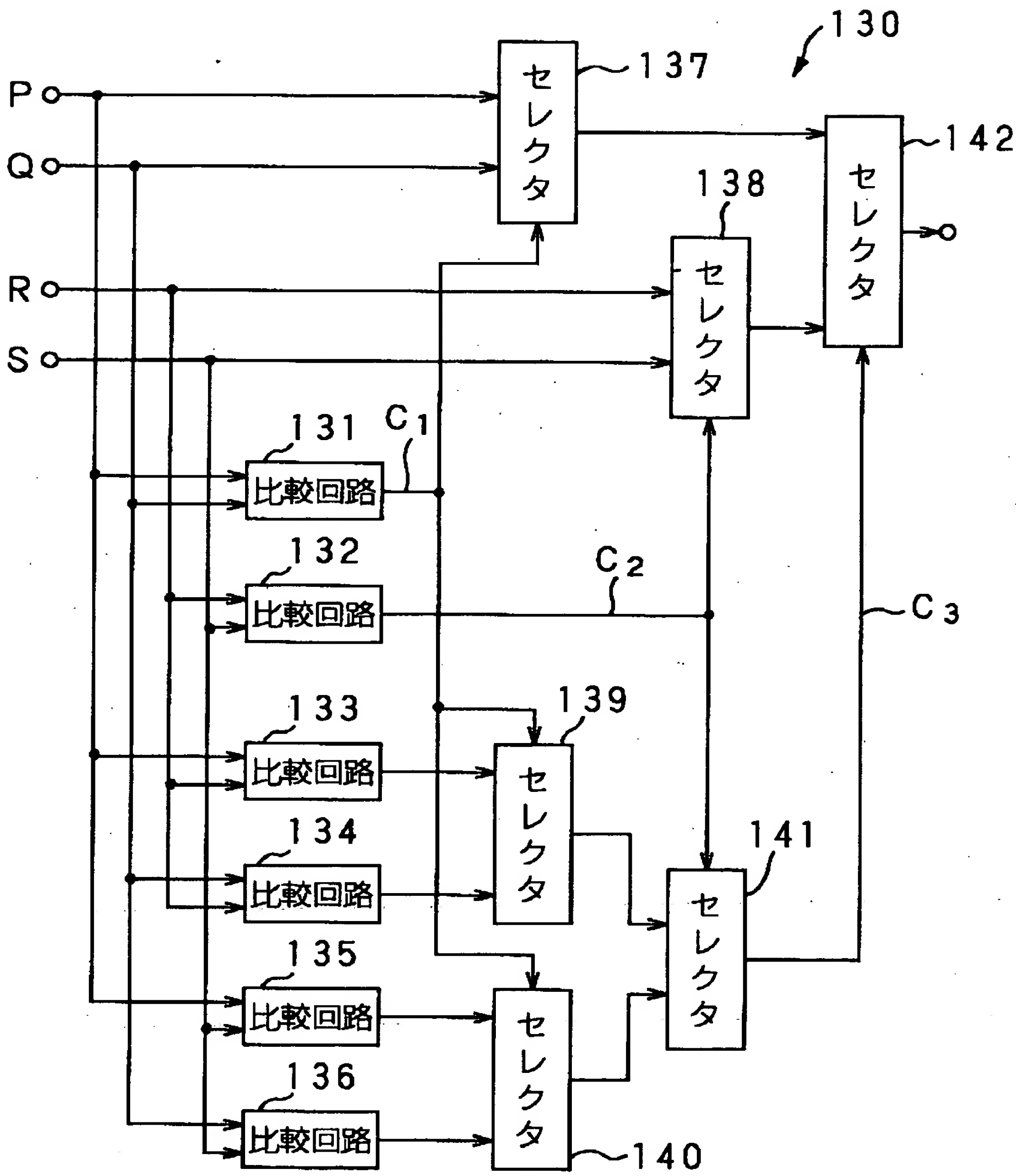
線形近似回路の構成ブロック図

【図１４】



線形近似回路による演算の説明図

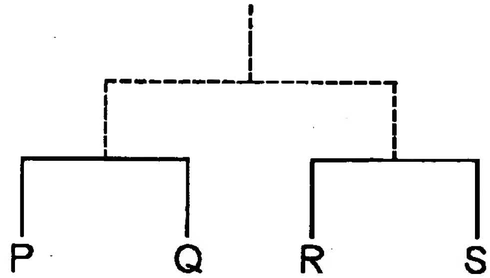
【図１５】



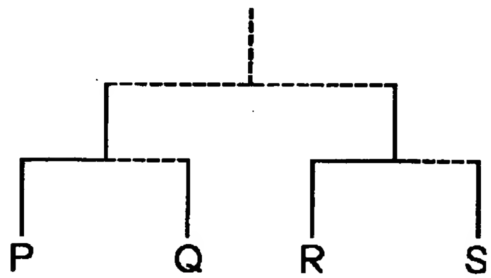
パス選択部の構成ブロック図

【図１６】

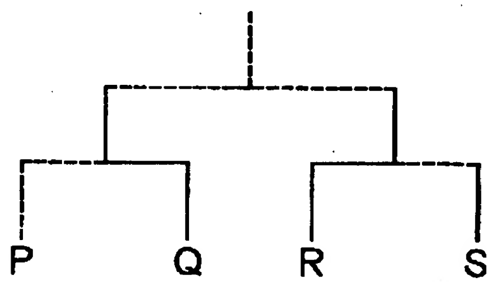
(A)



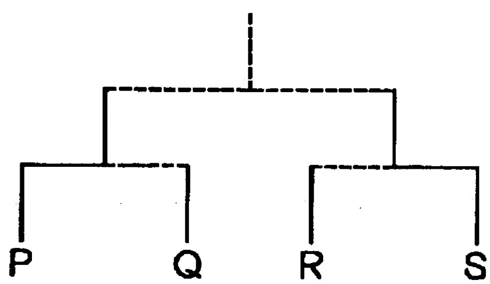
(B)



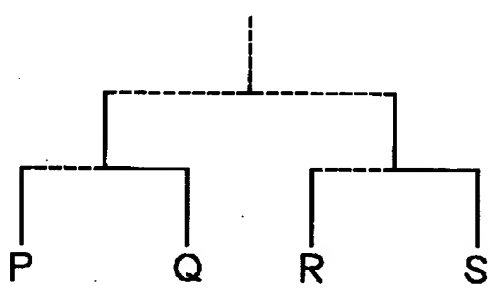
(C)



(D)

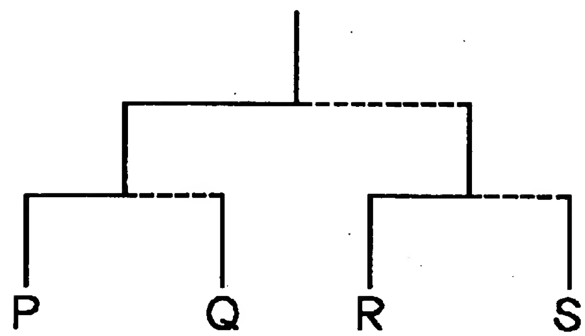


(E)



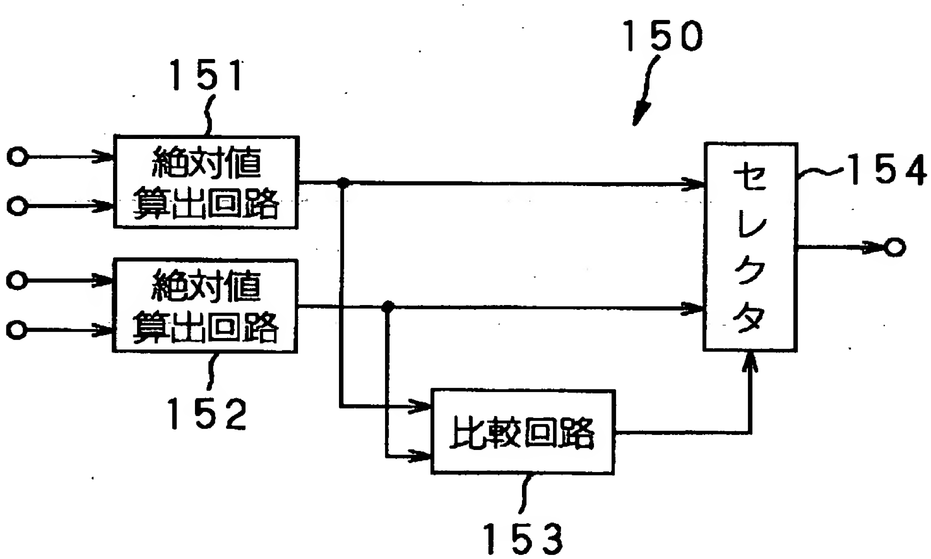
パス選択部における動作の説明図

【図１７】



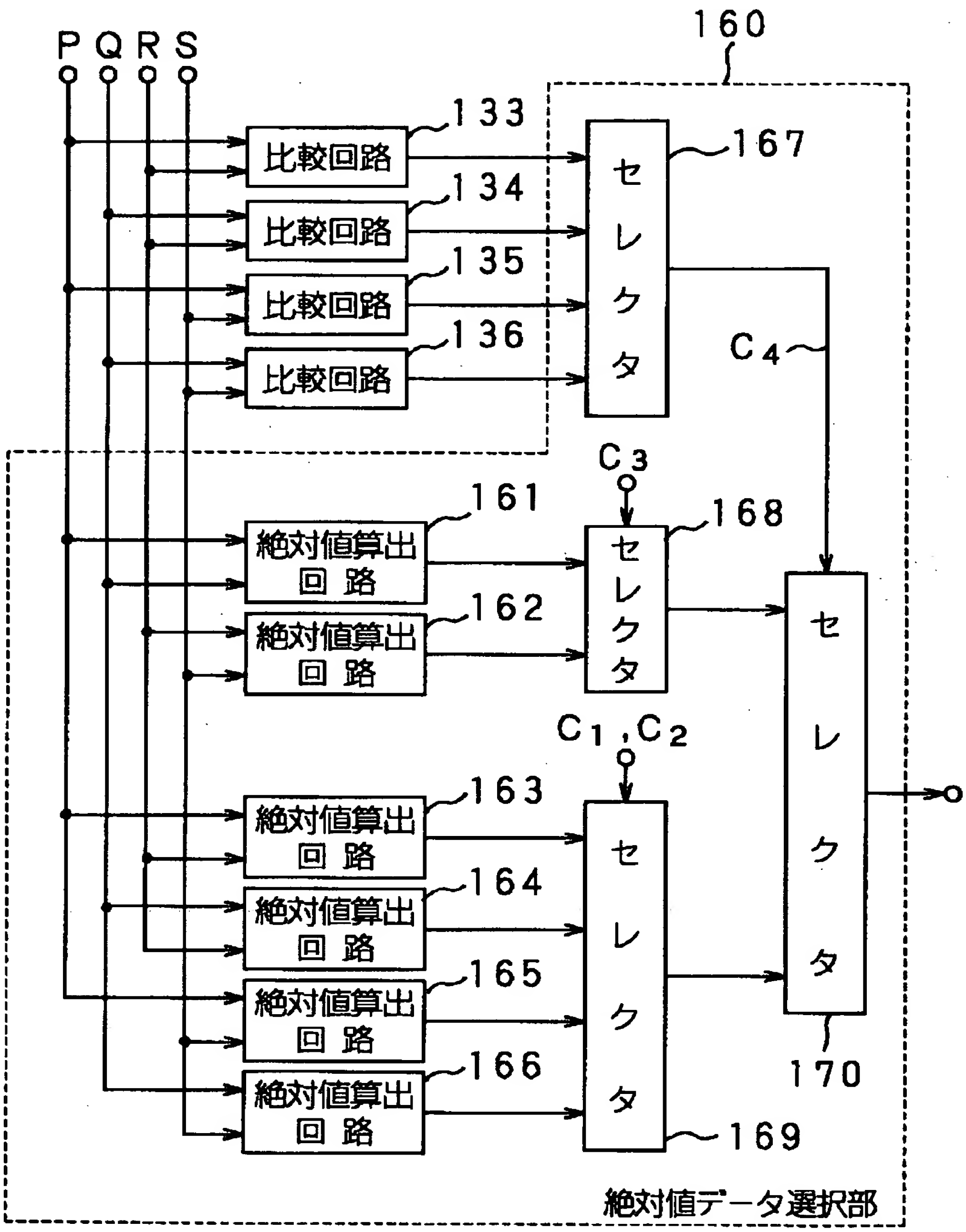
パス選択部における動作の説明図

【図１８】



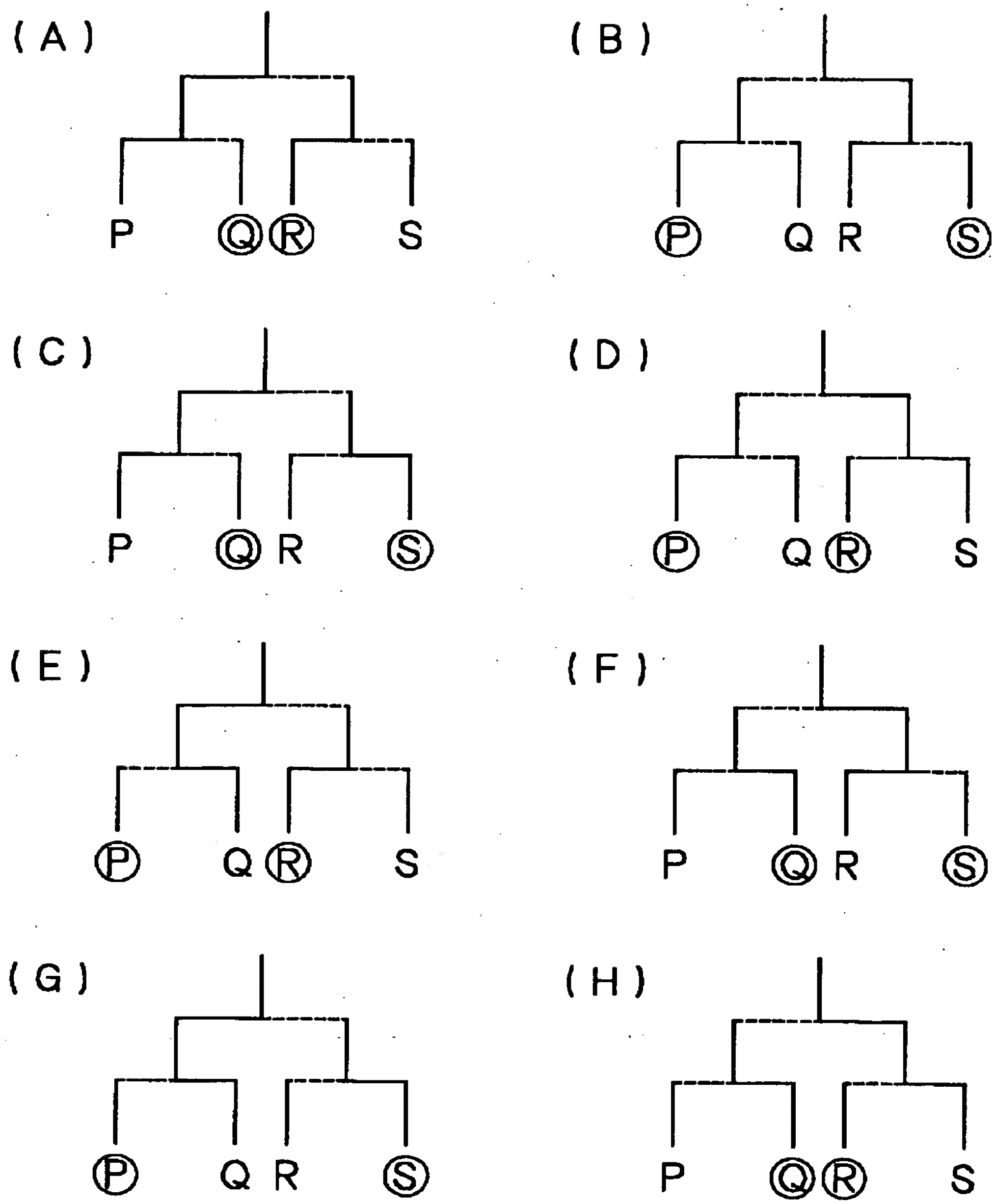
絶対値データ選択部の構成ブロック図

【図１９】



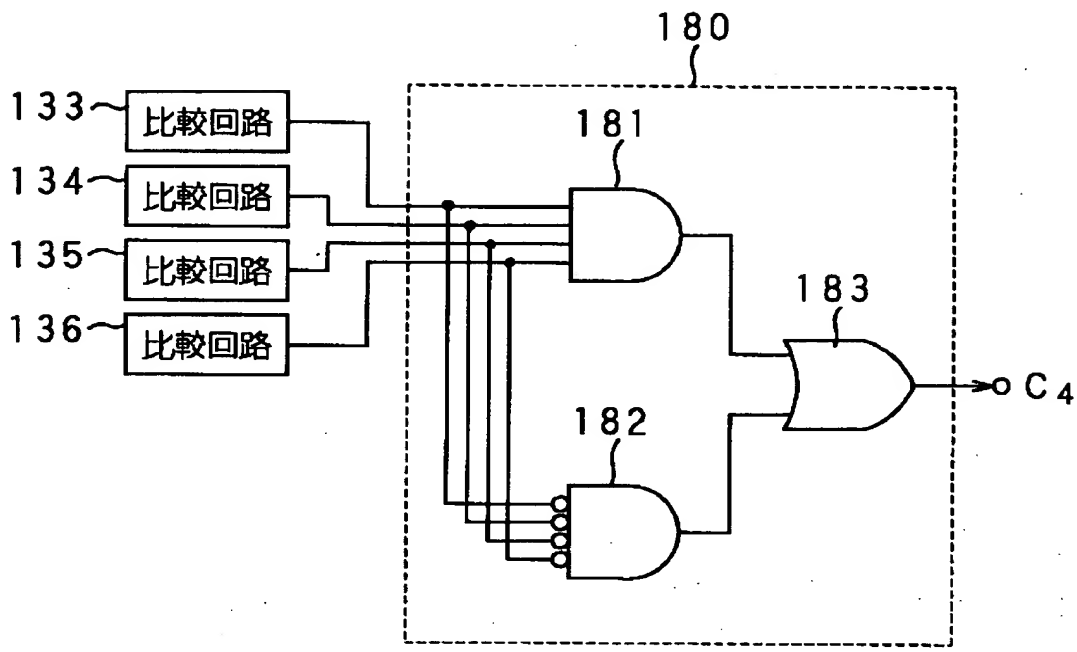
絶対値データ選択部の構成ブロック図

【図２０】



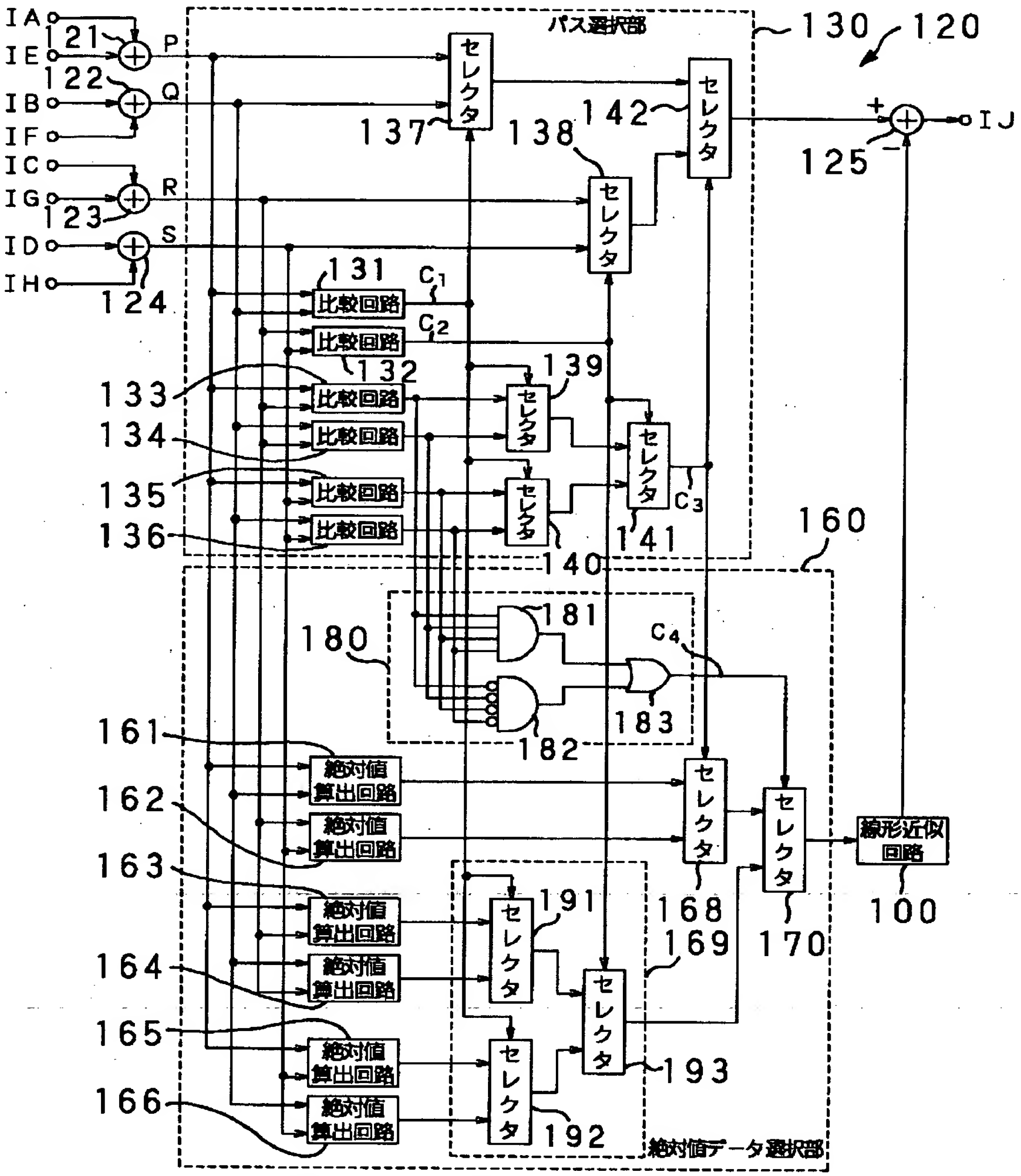
絶対値データ選択部における動作の説明図

【図２１】



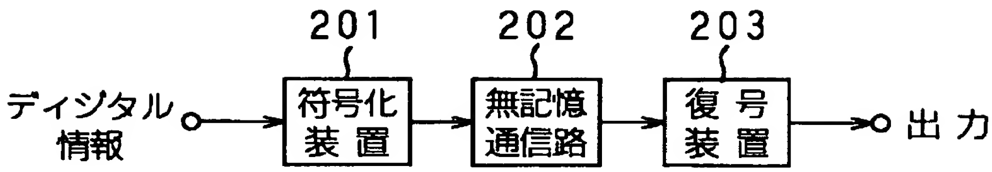
選択部の構成ブロック図

【図２２】



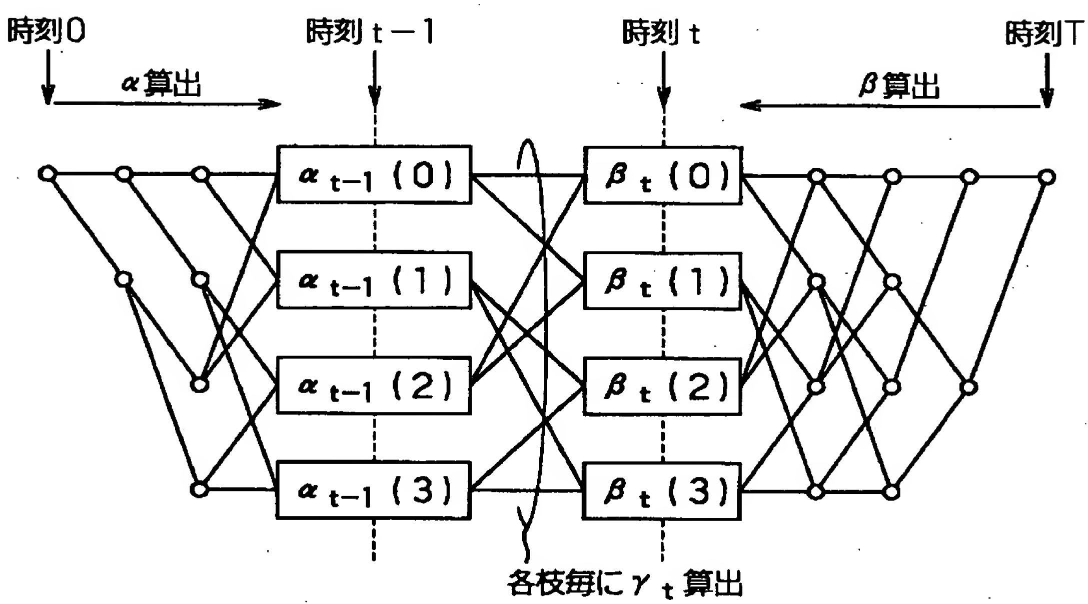
加算比較選択回路の構成ブロック図

【図２３】



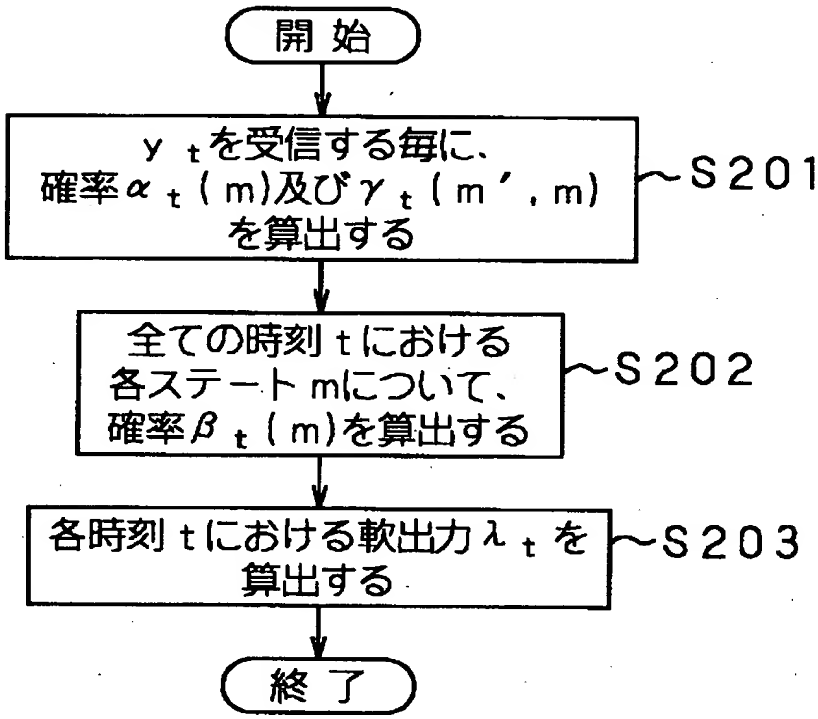
通信モデルの構成ブロック図

【図２４】



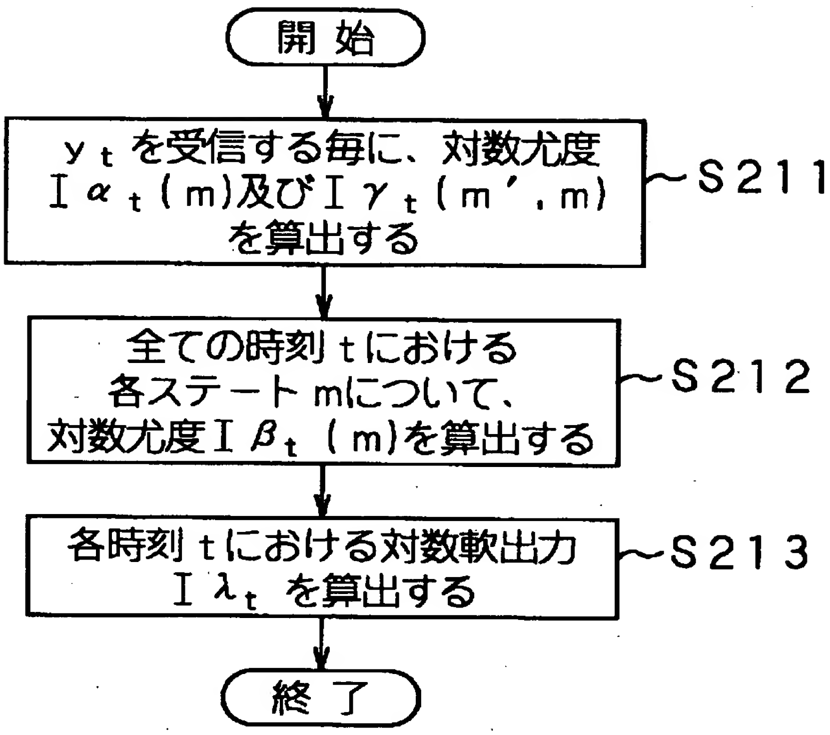
トレリスの説明図

【図２５】



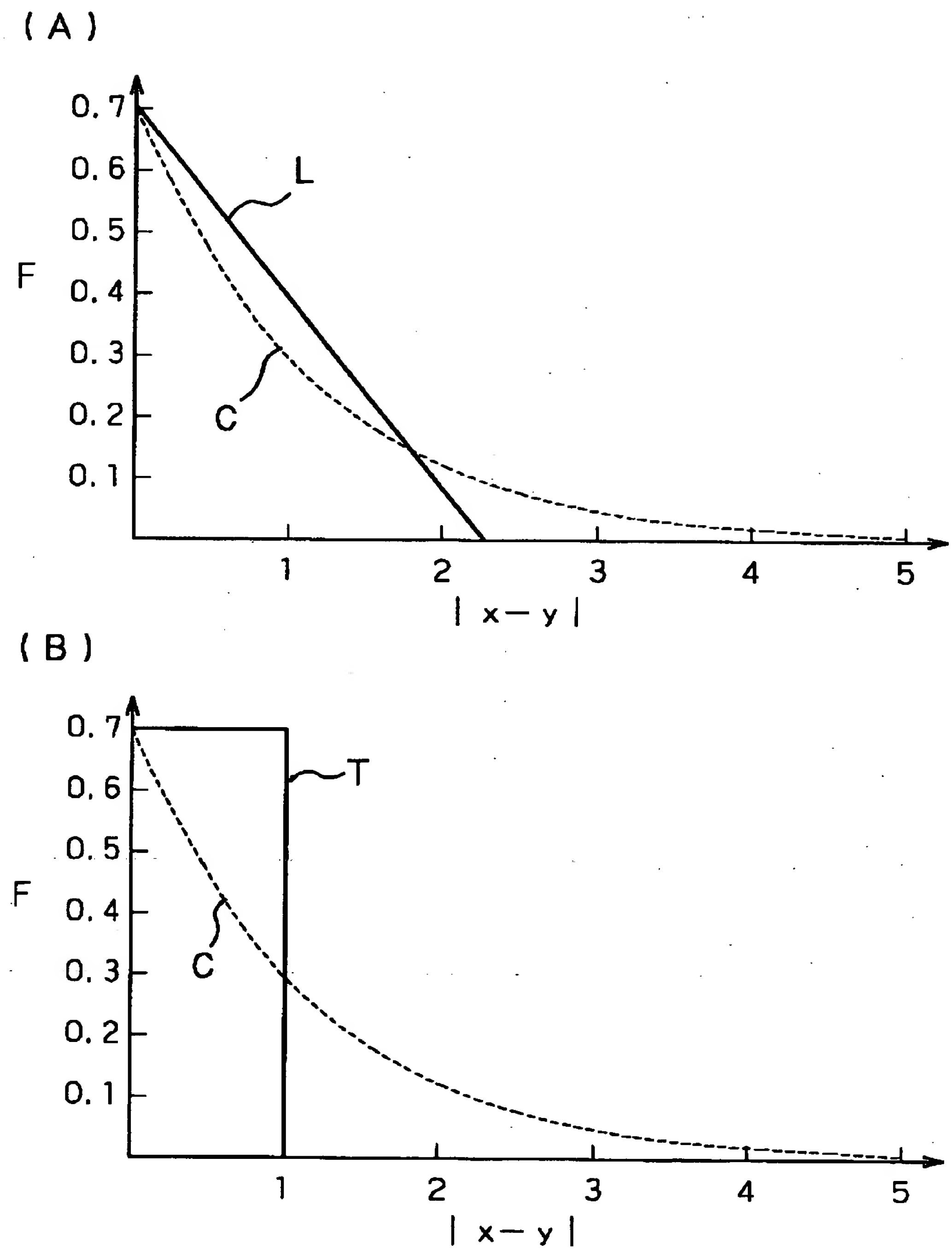
復号装置における一連の処理工程

【図２６】



復号装置における一連の処理工程

【図２７】



ｌｏｇ－ｓｕｍ補正の説明図

【書類名】　要約書

【要約】

【課題】　復号の性能を劣化させることなく、高速化を図る。

【解決手段】　復号装置は、各ステートに到達した少なくとも３つ以上のパスのうち、尤度の高い少なくとも２つ以上のパスを求め、これらの少なくとも２つ以上のパスの中から最尤パスを選択するパス選択部１３０と、最尤パスに対応するデータと準最尤パスに対応するデータとの差分値の絶対値を求めて選択する絶対値データ選択部１６０とを備える。パス選択部１３０は、データＰ，Ｑ，Ｒ，Ｓについて、いわば勝ち抜き戦に喩えられる動作を行うことによって、データＰ，Ｑ，Ｒ，Ｓの値の大小を比較して最尤パスに対応するデータを選択する。また、絶対値データ選択部１６０は、パス選択部１３０における比較回路１３３乃至１３６により求められた比較結果情報に基づいて、絶対値算出回路１６１乃至１６６により算出された絶対値データの大小関係を判別する。

【選択図】　図２２

出願人履歴情報

識別番号　〔０００００２１８５〕

１．変更年月日　１９９０年　８月３０日
　［変更理由］　新規登録
　　住　所　東京都品川区北品川６丁目７番３５号
　　氏　名　ソニー株式会社